

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra mechanické technologie**

***Diplomová práce***

**2010**

**Bc. Marcel Beňo**

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Monitoring kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů  
pro svařování jaderných zařízení

*Qualification Test Monitoring of Filler Materials  
for Welding at Nuclear Facilities*

Student:

Bc. Marcel Beňo

Vedoucí diplomové práce:


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Ostrava 2010

### ***Prohlášení studenta***

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Rudolfově: 23.03.2010.....

  
.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Rudolfově: 23.03.2010.....

  
.....  
plné jméno autora práce

Luční 698/10, 373 71 Rudolfov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

BEŇO, M. Monitoring kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů pro svařování jaderných zařízení: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 131 s. Vedoucí práce: Hlavatý, I.

Diplomová práce se zabývá problematikou monitoringu kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů pro svařování jaderných zařízení. První část se zabývá výkonem dohledu nad technickou bezpečností jaderných zařízení. V druhé části jsou specifikovány zásady pro volbu přídatných materiálů. Třetí a čtvrtá část je věnována provedení kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů. Pátá část popisuje monitoring a dokumentační záznamy svařovacího procesu. Následující šestá část popisuje vyhodnocení kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů. Závěrem byla zhodnocena problematika kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů včetně dohledu nad technickou bezpečností.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

BEŇO, M. Qualification Test Monitoring of Filler Materials for Welding at Nuclear Facilities: Master Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2010, 131 p. Thesis head: Hlavatý, I.

Master thesis is focused on problems related to qualification test monitoring of filler materials for welding at nuclear facilities. The first part describes supervision of technical safety at nuclear facilities. In the second part, there are specified principles of selection welding filler materials. The third and fourth section is devoted to the implementation of qualification test filler materials. The fifth section describes monitoring and documentation records of welding process. Subsequent, sixth part described the evaluation of qualification test of filler materials. Finally, the conclusion of qualification test filler materials was evaluated, including supervision of technical safety.

## Obsah diplomové práce

<b>Seznam použitých značek a symbolů.....</b>	<b>4</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Technická bezpečnost vybraných položek.....</b>	<b>7</b>
1.1 Dohled nad technickou bezpečností.....	7
1.2 Legislativní podpora pro výkon technické bezpečnosti.....	8
<b>2 Volba přídatných materiálů.....</b>	<b>9</b>
2.1 Zásady pro volbu přídatných materiálů.....	9
2.2 Původní přídatné materiály.....	10
2.3 Zkoušky původních přídatných materiálů.....	10
2.4 Náhrady původních přídatných materiálů.....	11
2.5 Osvědčovací zkoušky náhrad přídatných materiálů.....	12
2.5.1 Technická dokumentace osvědčovacích zkoušek.....	13
2.5.2 Příprava osvědčovacího svarového spoje.....	14
2.5.3 Rozsah nedestruktivních kontrol.....	14
2.5.4 Rozsah destruktivních zkoušek.....	14
2.5.5 Provedení kontrol a zkoušek.....	14
2.5.6 Výsledky zkoušek.....	15
2.5.7 Požadavky na způsobilost.....	16
2.5.8 Materiály pro provedení osvědčovacích zkoušek.....	16
2.6 Ověřovací zkoušky přídatných materiálů.....	16
2.6.1 Provedení ověřovacích zkoušek.....	17
<b>3 Osvědčovací zkoušky svarových kovů elektrody OK 63.25 N.....</b>	<b>17</b>
3.1 Metoda svařování.....	17
3.2 Svařovací zdroj.....	18
3.3 Přídatný materiál.....	19
3.4 Příprava a svařování zkušebních svarů.....	20
3.5 Charakteristika ocelí.....	23
3.6 Svařitelnost ocelí.....	23
3.7 Nedestruktivní zkoušky.....	25
3.8 Zkoušené vlastnosti svarových kovů.....	25
3.8.1 Chemické složení svarových kovů.....	25
3.8.2 Základní mechanické vlastnosti.....	26
3.8.3 Obsah $\delta$ feritu.....	26

3.8.4	Zkouška MKK.....	27
3.8.5	Stanovení odolnosti proti vzniku trhlin za tepla.....	27
<b>4</b>	<b>Ověřovací zkoušky svarových kovů drátu INERTROD 316 LSi.....</b>	<b>27</b>
4.1	Metoda svařování.....	27
4.2	Svařovací zdroj.....	28
4.3	Přídavný materiál.....	28
4.4	Příprava a svařování zkušebních svarů.....	30
4.5	Nedestruktivní zkoušky.....	31
4.6	Zkoušené vlastnosti svarových kovů.....	31
4.6.1	Chemické složení svarových kovů.....	32
4.6.2	Základní mechanické vlastnosti.....	32
4.6.3	Obsah $\delta$ feritu.....	33
<b>5</b>	<b>Monitoring a dokumentační záznamy svařovacího procesu.....</b>	<b>33</b>
5.1	Monitoring svařovacího procesu.....	33
5.1.1	Měřené veličiny svařovacího procesu.....	34
5.2	Standardní kontrolní měřidla.....	35
5.2.1	Přehled standardních měřidel a pomůcek.....	35
5.2.2	Technické parametry standardních měřidel.....	35
5.3	Zařízení WeldMonitor.....	36
5.3.1	WeldMonitor Hardware.....	36
5.3.2	Přehled digitálních modulů.....	37
5.3.3	Technické parametry digitálních modulů.....	38
5.3.4	WeldMonitor Software.....	39
5.3.5	WeldMonitor WDS server.....	40
5.3.6	WeldMonitor PC stanice.....	41
5.4	Záznamy z průběhu svařovacího procesu.....	42
<b>6</b>	<b>Vyhodnocení zkoušek svarových kovů přídavných materiálů.....</b>	<b>44</b>
6.1	Nedestruktivní posouzení svarových kovů.....	44
6.1.1	Vizuální kontrola svarových kovů.....	44
6.1.2	Kapilární zkouška svarových kovů.....	45
6.1.3	Radiografická zkouška svarových kovů.....	47
6.2	Destruktivní posouzení svarových kovů.....	53
6.2.1	Stanovení odolnosti svarových kovů elektrod OK 63.25 N proti vzniku trhlin za tepla.....	53

6.2.2	Chemické složení svarových kovů.....	55
6.2.2.1	Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N.....	55
6.2.2.2	Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi.....	57
6.2.3	Obsah $\delta$ feritu ve svarových kovech.....	58
6.2.3.1	Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N.....	58
6.2.3.2	Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi.....	60
6.2.4	Mechanické vlastnosti svarových kovů.....	62
6.2.4.1	Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N.....	62
6.2.4.2	Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi.....	70
<b>7</b>	<b>Zhodnocení problematiky kvalifikačních zkoušek přídavných materiálů.....</b>	<b>74</b>
7.1	Zhodnocení osvědčovacích zkoušek elektrody OK 63.25 N.....	74
7.2	Zhodnocení ověřovacích zkoušek drátu INERTROD 316 LSi.....	75
7.3	Posouzení nezávislého dohledu nad kvalifikací přídavných materiálů....	76
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>85-131</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>86</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

A <sub>5</sub>	Tažnost	[%]
AC	Střídavý proud	
ASTM	Americká technická norma pro zkoušení a materiály	
B	Počet elektrod na kg svarového kovu	[ks]
BT	Bezpečnostní třídy jaderných zařízení podle vyhlášky č. 132/2008 Sb.	
CEV	Uhlíkový ekvivalent	[%]
ČSN	Česká technická norma	
ČSN EN ISO	Česká technická norma, která je verzí evropské normy ISO EN	
DC	Stejnoseměrný proud	
DT	Destruktivní zkoušky	
EN	Evropská norma	
GOST	Ruská technická norma	
H	Výkon navařování	[kg/h]
I	Elektrický proud	[A]
Interpass	Mezihousesnková teplota	
JE	Jaderná elektrárna	
JZ	Jaderná zařízení	
KCU	Nárazová práce - U vrub	[J.cm <sup>-2</sup> ]
KCV	Nárazová práce - V vrub	[J.cm <sup>-2</sup> ]
KV	Nárazová práce	[J]
MMA (111)	Manual Metal Arc Welding - metoda ručního obloukového svařování obalenou elektrodou	
MKK	Mezikrystalová koroze - mezikrystalická koroze	
MT	Zkoušení magnetickou metodou práškovou	
N	Podíl svarového kovu	[%]
NDT	Nedestruktivní zkoušky	
NTD A.S.I.	Normativně technická dokumentace asociace strojních inženýrů	
PA	Poloha svařování - vodorovná shora	
PKZ	Plán kontrol a zkoušek	

PT	Kapilární zkouška	
Q	Vnesené teplo	[kJ.mm <sup>-1</sup> ]
R <sub>e</sub>	Mez kluzu	[MPa]
R <sub>eH</sub>	Horní mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R <sub>p0,2</sub>	Smluvní mez kluzu	[MPa]
RT	Radiografické zkoušení	
T	Doba hoření	[s]
TDP	Technické dodací podmínky	
TIG (141)	Tungsten Inert Gas Welding - metoda obloukového svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu	
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	
U	Elektrické napětí	[V]
UT	Zkoušení ultrazvukem	
UWT	U vrub ve svarovém kovu, orientovaný kolmo k povrchu zkušebního kusu	
VacPac	Ochranné vakuové balení	
VT	Vizuální kontrola	
VVER	Vodo-vodní energetický reaktor	
VWT	V vrub ve svarovém kovu, orientovaný kolmo k povrchu zkušebního kusu	
W	Hmotnost 100 ks elektrod	[kg]
WDS	Datový server svařování	
pWPS	Předběžná specifikace postupu svařování	
Z	Kontrakce	[%]
t	Čas svařování	[s]
(+) DC	Nepřímá polarita - stejnosměrný proud	
(-) DC	Přímá polarita - stejnosměrný proud	
η	Výtěžnost	[%]
δ <sub>f</sub>	Tuhý roztok uhlíku v železe delta - delta ferit	

## Úvod

V jaderné energetice máme významnou skupinu komodit, která svým charakterem použití přímo ovlivňuje úroveň technické bezpečnosti jaderných zařízení ve fázi výroby, montáže a oprav. Jednou z komodit, majících vliv na jadernou bezpečnost, jsou přídavné materiály pro svařování. U přídavných materiálů, kromě svých specifických vlastností, nelze opomenout jejich vliv na výsledné vlastnosti svarových spojů. Omezujícím faktorem, který v současné době negativně ovlivňuje volbu přídavných materiálů, je úzký sortiment vhodných přídavných materiálů pro svařování jaderných zařízení.

Mezi důležité oblasti při kvalifikaci přídavných materiálů, patří zajištění nezávislého dohledu nad výrobními a kontrolními procesy ovlivňujícími jejich kvalitu. Mimořádný důraz je kladen na ověření vstupních údajů, vlastního výkonu, zkoušení a zdokumentování těchto procesů. Tímto jsou naplněny zákonné požadavky umožňující nezávislé posouzení shody vybraných zařízení včetně jejich částí, kam spadá i oblast přídavných materiálů.

Tato práce se zabývá postupem kvalifikace přídavných materiálů formou osvědčovacích a ověřovacích zkoušek včetně nezávislého dohledu nad těmito procesy. Odzkoušené a schválené přídavné materiály nacházejí svá technologická uplatnění ve všech etapách výroby a údržby jaderných zařízení. Celý průběh kvalifikačního procesu je řádně monitorován a zdokumentován. Součástí nezávislého dohledu nad svařováním zkušebních desek je aplikace kontinuálního snímání parametrů svařování z důvodů kvality, detekce, evidence a archivace záznamů.

Cílem diplomové práce je návrh a provedení kvalifikačních zkoušek přídavných materiálů pro svařování jaderných zařízení včetně monitoringu procesu svařování a zkoušení. V práci je provedeno komplexní posouzení dvou typů přídavných materiálů a návrh postupu pro volbu, zkoušení a posuzování přídavných materiálů ovlivňujících technickou bezpečnost jaderných zařízení včetně výkonu nezávislého dohledu.

# 1 Technická bezpečnost vybraných položek

## 1.1 Dohled nad technickou bezpečností

Procesy obstarávání, ověřování a validace položek s vlivem na jadernou bezpečnost, radiační ochranu a technickou bezpečnost musí probíhat za dohledu nezávislého útvaru držitele povolení, který je státním úřadem pro jadernou bezpečnost pro tuto činnost pověřen. Výkon dohledu je zajištěn útvarem Technické bezpečnosti, který je organizačně začleněn v divizi Výroba (obr. P1). Ve výrobě nových zařízení nebo jejich částí provádí dohled nad výrobou, zkoušením a posuzováním shody autorizovaná osoba podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. Mezi tyto důležité výrobní položky (komodity) patří i oblast přídavných materiálů [12].

Cílem technické bezpečnosti je systémově zajistit dostatečnou úroveň prováděných činností, které vedou k:

- zajištění dohledu nad dodržováním požadavků na technickou bezpečnost,
- identifikaci slabých míst,
- návrhu opatření pro zajištění stanovené úrovně bezpečnosti technických zařízení.

Dohled nad technickou bezpečností je plánován jednak na činnosti zabezpečované držitelem povolení, dále na procesy a činnosti zabezpečované dodavatelem vstupující na vybraná zařízení a speciálně navrhovaná vybraná zařízení. Dohled je realizován dostatečně kvalifikovaným personálem neodpovídajícím přímo za prověřovanou oblast (zajištění výroby, zkoušek a dodávky), jejichž znalosti a dovednosti jsou pravidelně a prokazatelně prověřovány. Výkon dohledu je směřován k ověřování předem stanovených kritérií, uvedených v dokumentaci dokladující technickou bezpečnost. Především se jedná o plán kontrol a zkoušek, který je zpracovaný jako samostatný dokument, obsahující konkrétní kontrolní operace a zkoušky, které je nutné provést a zdokumentovat k prokázání, že realizací zakázky nebo změny bylo dosaženo požadovaného cíle [8].

Přídavné materiály musí mít schválení k použití pro daný typ konstrukce a zařízení. Vlastní volba přídavného materiálu je dána kvalifikačními postupy svařování. Použitý přídavný materiál pro svařování je dokladován dokumentem kontroly příslušného typu podle ČSN EN 10204 [13].

Pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná bezpečnostní třídy BT1 a BT2 musí být přídavný materiál dokladován osvědčením výrobce potvrzený autorizovanou osobou typu 3.2. Pro vybraná zařízení bezpečnostní třídy BT1 a BT2 osvědčením výrobce typu 3.1. Pro ostatní vyhrazená technická zařízení je dostačující osvědčením výrobce typu 2.2, pokud není vyžadováno projektantem specifické zkoušení typu 3.1. Je-li vyžadováno schválení přídavného materiálu autorizovanou nebo notifikovanou osobou, musí být toto schválení potvrzeno v dokumentu kontrol podle ČSN EN 10204. Pro manipulace s přídavným materiálem musí být zpracovány postupy. Jsou-li požadovány zkoušky dávek přídavných materiálů, např. při překročení doby expirace, ověření dávek na MKK,  $\delta_f$  musí být provedeny a vyhodnoceny před uvolněním (použitím) přídavného materiálu do výroby. Pro skladování a manipulaci s přídavným materiálem ve výrobních a provozních prostorách elektrárny platí schválená dokumentace držitele povolení [8].

## **1.2 Legislativní podpora pro výkon technické bezpečnosti**

Mezi závazné výchozí dokumenty v oblasti technické bezpečnosti vybraných nebo vyhrazených technických zařízení patří:

- Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření.
- Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky.
- Nařízení vlády č. 26/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení.
- Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařízení do bezpečnostních tříd.
- Vyhláška č. 309/2005 Sb., o zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení.
- Vyhláška ČÚBP a ČBÚ č. 18/1979 Sb., kterou se určují vyhrazená tlaková zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti.

- Vyhláška ČÚBP a ČBÚ č. 19/1979 Sb., kterou se určují vyhrazená zdvihací zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti.
- Vyhláška ČÚBP a ČBÚ č. 21/1979 Sb., kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti.
- NTD A.S.I. Sekce I Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER.
- NTD A.S.I. Sekce II Charakteristiky materiálů pro zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER.
- NTD A.S.I. Sekce V Zkoušky materiálů.
- OP 1513-72 Moskva 1974 Základní předpisy pro svařování a navařování uzlů a konstrukcí jaderných elektráren, experimentálních a výzkumných jaderných reaktorů a souborů.
- PK 1514-72 Moskva 1974 Předpisy pro kontrolu svarových spojů a návarů uzlů a konstrukcí JE, experimentálních a výzkumných reaktorů a souborů.

## **2 Volba přídatných materiálů**

### **2.1 Zásady pro volbu přídatných materiálů**

Volba přídatných materiálů pro svařování JZ musí být prováděna dle zásad uvedených v postupech držitele povolení. Podle těchto zásad volí dodavatel přídatný materiál v rámci zpracování příslušné technické dokumentace. Dodavatel musí vždy doložit vhodnost zvoleného přídatného materiálu pro konkrétní účel a použití na konkrétním JZ. Posouzení vhodnosti materiálů provádí dodavatel formou analýzy nebezpečí z hlediska technické bezpečnosti zpracované na konkrétní JZ.

Uvedená povinnost platí pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. Dodavatel tímto postupem plní požadavky vyhlášky, kdy musí ve svém návrhu zohlednit specifické podmínky pro konkrétní zařízení, stanovené držitelem povolení. Z uvedeného provedení analýzy nebezpečí vyplývají další dodatečné podmínky například na provedení pracovních zkoušek, aj. Veškeré podmínky plynoucí z analýzy nebezpečí jsou pak předmětem posuzování technické dokumentace autorizovanou osobou.

Pro výrobu JZ je doporučeno přednostně volit přídatné materiály, které předepisuje původní projektová a technická dokumentace. Pro výrobu, montáž, opravy JZ a výrobu náhradních dílů na výměnu je možné volit náhrady přídatných materiálů za předpokladu dodržení všech podmínek specifického ohodnocení, prováděné formou osvědčovacích a ověřovacích zkoušek [9].

## **2.2 Původní přídatné materiály**

Jedná se o přídatné materiály používané za výstavby a provozu jaderných elektráren (JE Dukovany, JE Temelín), které byly vyráběny společností ESAB Vamberk podle technického kódu pro jadernou energetiku. V roce 1995 ukončila společnost ESAB Vamberk výrobu a dodávky přídatných materiálů pro svařování na jaderných elektrárnách typu VVER. Tato skutečnost vyvolala nutnost specifikovat náhrady za původní přídatné materiály a stanovit podmínky jejich použití na jaderných elektrárnách.

Nyní jsou původní přídatné materiály pro svařování, navařování, opravy a výrobu náhradních dílů jaderných zařízení typu VVER uvedeny ve schválených seznamech NTD A.S.I. Sekce I včetně technických charakteristik, tj. chemické složení a hodnoty mechanických vlastností [9].

## **2.3 Zkoušky původních přídatných materiálů**

Nově dodávané původní přídatné materiály pro výrobu, montáž a opravy JZ podle vyhlášky č. 132/2008 Sb. musí být zkoušeny a dokumentovány dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204, v rozsahu dle požadavků projektanta, konstruktéra výrobce nebo odběratele a v rozsahu technických charakteristik původních přídatných materiálů. U zařízení vyráběných podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. spadající do bezpečnostních tříd BT1 a BT2 se vyžaduje u přídatných materiálů dokument kontroly typu 3.2 vydaný společně výrobcem a autorizovanou osobou. Vlastnosti nově dodávaných původních přídatných materiálů musí být ověřovány po prověřovaných skupinách formou ověřovacích zkoušek [10, 11].

## 2.4 Náhrady původních přídavných materiálů

Při výběru náhrad přídavných materiálů je nutné přihlédnout, aby příslušné nebo blízké použití daného přídavného materiálu ke svařování JZ bylo již v zemi výrobce přídavného materiálu certifikováno mezinárodně uznávanými institucemi a současně vyhovovalo požadavkům na základní charakteristiky původních přídavných materiálů, mimo přesného dodržení chemického složení. Výrobce přídavného materiálu musí mít certifikovaný systém managementu jakosti podle ČSN EN ISO 9001 [14].

Náhrady původních přídavných materiálů lze definovat jako materiál, který vyhovuje požadavkům na základní charakteristiky původních přídavných materiálů. Požadované charakteristiky náhrad se prokazují v rámci provedených zkoušek podle předem schválené technické dokumentace na konkrétní přídavný materiál a jeho účel použití. Podle přístupu k volbě náhrad přídavných materiálů pro svařování JZ lze zkoušení požadovaných charakteristik rozdělit do dvou úrovní:

- osvědčovací zkoušky přídavných materiálů,

*přídavný materiál jako zvolená náhrada za původní přídavný materiál je uveden v seznamu doporučených přídavných materiálů, a to na základě jeho přibližných charakteristik k původnímu přídavnému materiálu. Obecně se jedná o náhrady, které zatím nebyly odzkoušeny (použity) pro svařování JZ. Uvedený seznam má statut doporučení, pro volbu potenciálně vhodné náhrady pro předpokládané použití. Před vlastním použitím musí být zkoušením prověřeno, zda zvolená náhrada vyhovuje požadovaným charakteristikám původního přídavného materiálu. Prověření je prováděno formou ucelených zkoušek mechanických vlastností svarového kovu a zkoušek chemického složení svarového kovu. Mechanické vlastnosti svarového kovu se zkouší např. ve výchozím stavu po svaření nebo po tepelném zpracování při zkušebních teplotách 20, 300, 350 °C. Chemické složení návarů svarového kovu je ověřeno např. optickou emisní spektrometrií. Pokud jsou výsledky všech osvědčovacích zkoušek vyhovující, je náhrada původního přídavného materiálu zařazena do seznamu přípustných (schválených) přídavných materiálů. Na vyhovující přídavný materiál je vystaven dokument „Schvalovací list přídavného materiálu“ pro jeho použití v jaderné energetice.*



- ověřovací zkoušky přídatných materiálů,  
*přídavný materiál je již uveden v seznamu přípustných (schválených) přídavných materiálů a to na základě vyhovujících osvědčovacích zkoušek, nebo se jedná o původní přídavný materiál předepsaný projektem. Při každé dodávce přípustných přídavných materiálů se musí provést ověření požadovaných vlastností, které musí být v souladu s hodnotami uvedenými ve „Schvalovacím listu přídavného materiálu“. Prověření je prováděno formou ucelených zkoušek mechanických vlastností svarového kovu a zkoušek chemického složení svarového kovu. Mechanické vlastnosti svarového kovu se převážně zkouší ve výchozím stavu po svaření při zkušební teplotě 20 °C. Chemické složení návarů svarového kovu je ověřeno např. optickou emisní spektrometrií. Pokud jsou výsledky všech ověřovacích zkoušek vyhovující je na přídavný materiál vystaven dokument kontroly příslušného typu podle ČSN EN 10204 pro dávku a použití v jaderné energetice.*

## 2.5 Osvědčovací zkoušky náhrad přídavných materiálů

Osvědčovací zkoušky se musí provádět pro každou značku přídavného materiálu a pro každý průměr jedné značky přídavného materiálu. Pro svařování a navařování v ochranných plynech musí být odzkoušena každá značka a každý průměr svařovacího drátu s každým předepsaným plynem.

Rozsah osvědčovacích zkoušek přídavných materiálů, spadajících pod vyhlášku č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2, musí být před zahájením svařování ve formě programu osvědčovacích zkoušek schválen autorizovanou osobou. U zařízení, spadajících pod vyhlášku č. 132/2008 Sb. a ostatních zařízení musí být rozsah osvědčovacích zkoušek ve formě programu zkoušek schválen kvalifikovaným pracovníkem držitele povolení. Osvědčovací zkoušky přídavných materiálů může provádět u zařízení vyráběných podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2 buď přímo autorizovaná osoba nebo pod jejím dozorem výrobce (dodavatel) přídavných materiálů nebo akreditovaná organizace. V ostatních případech může provádět osvědčovací zkoušky akreditovaná organizace nebo pod jejím dozorem výrobce (dodavatel) přídavných materiálů. Součástí programu osvědčovacích zkoušek musí být plán kontrol a zkoušek, ve kterém jsou zdokumentovány záznamy z dohledu.

### 2.5.1 Technická dokumentace osvědčovacích zkoušek

Před svařováním osvědčovacího svarového spoje musí organizace, provádějící tuto zkoušku, vypracovat program osvědčovacích zkoušek. Tento program musí obsahovat všechny údaje pro provedení této osvědčovací zkoušky:

- druh, jakost, obchodní značení dle evropských norem, rozměr přídatného materiálu,
- rozměry a tvar vzorku a svarových ploch zkušebního spoje,
- pWPS pro provedení osvědčovacího svarového spoje,
- požadovaný rozsah nedestruktivních a destruktivních zkoušek s předepsanými požadovanými hodnotami,
- další potřebné údaje pro provedení osvědčovací zkoušky přídatného materiálu.

Po svaření a vyhodnocení osvědčovacího svarového spoje musí organizace provádějící osvědčovací zkoušky vypracovat technickou zprávu o těchto zkouškách, která bude obsahovat:

- výsledky kontroly průvodní dokumentace přídatného materiálu,
- záznam průběhu svařování a veškeré parametry svařování dle pWPS pro svařování,
- výsledky všech kontrol předepsaných v programu osvědčovacích zkoušek.

Výsledky zkoušek předloží výrobce nebo dodavatel přídatných materiálů ve formě technické zprávy v případě, že se jedná o přídatný materiál pro svařování vybraných zařízení speciálně navrhovaných podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2 autorizované osobě, k posouzení shody s technickou specifikací.

Na základě vyhovujících výsledků zkoušek a posouzení shody, vydá autorizovaná osoba „Schvalovací list přídatného materiálu“ pro dodávky pro jadernou energetiku. V ostatních případech předloží výrobce nebo dodavatel přídatných materiálů výsledky zkoušek, ve formě zprávy, akreditované organizaci k posouzení shody s technickou specifikací. Na základě vyhovujících výsledků zkoušek a posouzení shody, vydá akreditovaná organizace společně s výrobcem „Schvalovací list přídatného materiálu“ pro dodávky pro jadernou energetiku.

Po vydání „Schvalovacího listu přídatného materiálu“ zařadí asociace strojních inženýrů daný přídatný materiál do seznamu přípustných přídatných materiálů pro použití v jaderné energetice.

### **2.5.2 Příprava osvědčovacího svarového spoje**

Pro svařování osvědčovacího svarového spoje a pro odběr zkušebních vzorků je nutno postupovat podle normy ČSN EN ISO 15792-1 [20].

### **2.5.3 Rozsah nedestruktivních kontrol**

Nedestruktivní kontroly svarových spojů osvědčovacích zkoušek musí obsahovat minimálně:

- vizuální kontrolu
- zkoušení magnetickou metodou práškovou nebo kapilární zkoušku
- zkoušení ultrazvukem nebo radiografické zkoušení

### **2.5.4 Rozsah destruktivních zkoušek**

Rozsah destruktivních zkoušek vyplývá z hodnot uvedených v technických charakteristikách původních přídatných materiálů podle NTD A.S.I. Sekce I.

### **2.5.5 Provedení kontrol a zkoušek**

Nedestruktivní kontroly a destruktivní zkoušky se provádějí a vyhodnocují podle norem a dokumentů v platném vydání:

- vizuální kontrola (VT) podle ČSN EN 970, ČSN EN ISO 5817,
- kapilární zkouška (PT) podle ČSN EN 571-1, ČSN EN 1289,
- zkoušení magnetickou metodou práškovou (MT) podle ČSN EN 1290, ČSN EN 1291,

- radiografické zkoušení (RT) podle ČSN EN 1435, ČSN EN 12517-1,
- zkoušení ultrazvukem (UT) podle ČSN EN 1714, ČSN EN 1712,

Vizuální kontrola se provádí podle normy ČSN EN 970 a vyhodnocuje podle ČSN EN ISO 5817, stupeň jakosti B. Ostatní NDT zkoušky se provádějí a vyhodnocují podle výše uvedených norem. Požadovaný stupeň přípustnosti odpovídající stupni jakosti B udává norma ČSN EN 12062. Při provádění zkoušek metodami RT a UT se vyžaduje technika a třída zkoušení B.

- příčná zkouška tahem podle ČSN EN 895, ČSN EN 10002-1, 5,
- podélná zkouška tahem svarového kovu podle ČSN EN 876, ČSN EN 10002-1,
- zkouška lámavosti podle ČSN EN 910,
- zkouška rázem v ohybu podle ČSN EN 875, ČSN EN 10045-1,
- zkouška tvrdosti podle ČSN EN 1043-1,
- zkouška mikrotvrdosti podle ČSN EN 1043-2,
- zkoušky makro a mikrostruktury podle ČSN EN 1321,
- zkouška odolnosti proti MKK podle GOST 6032-58, metoda AM,
- kontrola obsahu  $\delta$  feritu podle ČSN EN ISO 8249 a podle metodiky TP ŽAZ D 1010,
- zkouška OTT podle PN-ŽAZ-312-1-87,
- potvrzení požadované hodnoty teploty křehkosti  $T_{KO}$  podle PN-ŽAZ-312-1-87, NTD A.S.I. Sekce V,
- zkoušky nízkocyklové a vysokocyklové únavy podle NTD A.S.I. Sekce V,
- stanovení chemického složení podle NTD A.S.I. Sekce V.

Výše uvedené nedestruktivní kontroly a destruktivní zkoušení se musí provádět podle platných norem a schválených postupů dané akreditované laboratoře a zkušebny.

### **2.5.6 Výsledky zkoušek**

Pro vyhodnocení předepsaných nedestruktivní kontrol je nutno použít hodnocení podle ČSN EN ISO 5817 stupeň jakosti B, s využitím normy ČSN EN 12062 pro stanovení odpovídajících stupňů přípustnosti. Všechny destruktivní zkoušky musí splnit požadavky předepsané pro původní přídatné materiály podle NTD A.S.I. Sekce I.

### **2.5.7 Požadavky na způsobilost**

Všechny nedestruktivní kontroly a destruktivní zkoušení musí provádět laboratoře a zkušebny akreditované podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 [23].

### **2.5.8 Materiály pro provedení osvědčovacích zkoušek**

Pro osvědčovací zkoušky je možno použít základní a přídatné materiály s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204. Připouští se uvedení hodnot mechanických vlastností podle „Data Sheetu“ zkoušeného přídatného materiálu.

## **2.6 Ověřovací zkoušky přídatných materiálů**

Ověřovací zkoušky se provádějí za účelem prokázání požadovaných vlastností svarových kovů přídatných materiálů při jejich každé dodávce. Přídatné materiály se ověřují po skupinách.

Prověřovaná skupina je definována jako:

- skupina elektrod se skládá z elektrod jedné značky a průměru, vyrobených jednou technologií z jádrového drátu, jedné tavby a z obalu, vyrobeného dle jedné receptury,
- skupina drátů se skládá z drátu jedné značky, rozměru, povrchu a provedení, vyrobené z jedné tavby oceli.

Ověřovací zkoušky přídatných materiálů se provádějí pro každou skupinu elektrod nebo drátů a pro každou kombinaci tavby drátu s příslušným ochranným plynem.

Ověřovací zkoušky provádí nejčastěji výrobce přídatných materiálů, dodavatel přídatných materiálů, výrobce komponentů jaderných elektráren, montážní organizace nebo akreditovaná organizace. V případě zkoušek přídatných materiálů, které budou použity pro výrobu zařízení spadajících do působnosti vyhlášky č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2 dozoruje zkoušky autorizovaná osoba. V ostatních

případech dozoruje zkoušky akreditovaná organizace. Všechny zkoušky a nedestruktivní kontroly musí provádět pouze akreditované laboratoře.

### **2.6.1 Provedení ověřovacích zkoušek**

Ověřovací zkoušky se provádějí v souladu s programem ověřovacích zkoušek, který je aplikovatelný pro přípravu svarového kovu, odběr zkušebních vzorků a rozsah nedestruktivních a destruktivních zkoušek.

Rozsah zkoušek je dán minimálně rozsahem, uvedeným ve „Schvalovacím listu přídatného materiálu“ vystaveným v případě, že svařované JZ spadá do působnosti vyhlášky č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2 autorizovanou osobou, v ostatních případech akreditovanou organizací a výrobcem přídatných materiálů. Rozsah zkoušek může být rozšířen o požadavky stanovené projektantem JZ. Výsledky ověřovacích zkoušek musí být v souladu s hodnotami uvedenými ve „Schvalovacím listu přídatných materiálů“.

Výsledkem ověřovacích zkoušek je dokument kontroly typu 3.2 podle ČSN EN 10204 vystavený v případě, že se jedná o přídatný materiál, který bude použit pro výrobu zařízení podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. v bezpečnostní třídě BT1 a BT2 autorizovanou osobou. V ostatních případech bude doložen dokument kontroly typu 3.1, vystavený výrobcem. Pro vystavení inspekčního certifikátu typu 3.2 je nutný souhlas výrobce přídatného materiálu pro danou tavbu, rozměr, značku a účel použití.

## **3 Osvědčovací zkoušky svarových kovů elektrody OK 63.25 N**

### **3.1 Metoda svařování**

Pro osvědčovací zkoušky elektrody OK 63.25 N byla použita metoda ručního obloukového svařování obalenou elektrodou. Číselné označení metody 111 podle normy ČSN EN ISO 4063 [15]. Jedná se o metodu, při které elektrický oblouk vzniká mezi

obalenou elektrodou a svařencem (obr. P2). Roztavené kapky kovu z elektrody se přenášejí obloukem do svarové lázně a jsou chráněny plyny vznikajícími z odtavujícího se obalu. Roztavená struska se dostává na povrch svarové lázně, kde během tuhnutí chrání svarový kov před přístupem atmosféry. Po svaření každé housenky je nutno strusku odstranit. Tato metoda se nejčastěji používá při běžném svařování všech druhů svařitelných ocelí i neželezných kovů a pro navařování [3].

### 3.2 Svařovací zdroj

Pro metodu ručního obloukového svařování byl použit svařovací zdroj SELCO Genesis 302 AC/DC (obr. 1). Jedná se o invertorový svařovací zdroj, který je vhodný pro svařování lehkých slitin, zvláštních slitin hliníku, oceli, mědi, bronzu, titanu a nerez oceli. Umožňuje svařování s vysokou kvalitou metodami TIG DC, TIG AC a MMA. Zdroj nabízí vynikající dynamickou odezvu, vysoký dodávaný výkon a je vybaven čelním ovládacím panelem s pokročilými funkcemi. Je zde možnost připojení jednotky vodního chlazení hořáku WU21, umožňující zvýšení výkonu hořáku. Celá jednotka je vsazena do pojezdového vozíku GT23, který vytvoří úhledný a dobře manipulovatelný celek. Čelní ovládací panel FP 164 je jednoduše a intuitivně nastavitelný pro všechny operace i parametry. Po vypnutí svařovacího zdroje si panel ukládá všechna poslední nastavení a po opětovném startu jsou k dispozici [7].



Obr. 1 Invertorový svařovací zdroj SELCO Genesis 302 AC/DC

### 3.3 Přídavný materiál

Pro svařování byla použita obalená elektroda obchodního označení OK 63.25 N o Ø 2,5; 3,2; 4,0 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204. Jedná se o obalenou elektrodu bazicko-rutilového typu, která je určena především pro svařování potrubí primárního a sekundárního okruhu jaderných zařízení z oceli typu 316L (obr. P3). Výrobce přídavného materiálu ESAB Vamberk, s.r.o. [5].

#### Svařovací proud

DC (+) stejnosměrný proud, zapojení obalené elektrody na plus pól [5]

Tab. 1 Označení elektrody OK 63.25 N [5]

Obalená elektroda	SFA/AWS A 5.4	EN 1600
OK 63.25 N	E316L-15	E Z 19 13 2 L B 4 2

Tab. 2 Chemické složení svarového kovu elektrody OK 63.25 N [5]

Typické chemické složení svarového kovu [%]									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co
Min	-	-	0,50	-	-	18,00	12,00	2,00	-
Max	0,035	0,90	2,50	0,020	0,020	20,00	14,00	2,50	0,10
Delta ferit (FC2) 2 - 8 [%]									

Tab. 3 Mechanické vlastnosti svarového kovu elektrody OK 63.25 N [5]

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu					
Stav [°C]	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KV-ISO-V [J]
20	> 320	> 520	> 30	-	> 65



Tab. 4 Produkt data elektrody OK 63.25 N [5]

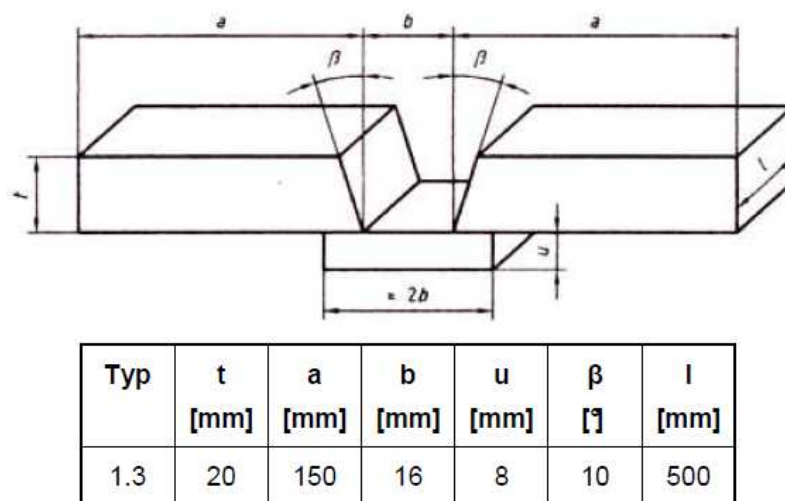
Ø [mm]	délka [mm]	I		U [V]	η [%]	N [%]	B [ks]	H [kg/h]	T [s]	W [kg]
		Min [A]	Max [A]							
2,5	300	50	90	23	115	0,66	83	0,83	52	1,8
3,2	350	80	115	23	115	0,62	44	1,2	67	3,6
4,0	350	85	170	24	110	0,60	31	1,6	73	5,4

### 3.4 Příprava a svařování zkušebních svarů

Pro jednostranné svařování zkušebních desek byly zvoleny svarové plochy podle normy ČSN EN ISO 15792-1 (obr. 2).

Svary pro odběr zkušebních vzorků byly svařeny svářečem s osvědčením o zkoušce podle ČSN EN 287-1 111 P BW 8 t20,0 PA ss mb (obr. P4), v rozsahu platnosti pro daný typ a velikost svarového spoje [16].

Zkušební desky byly svařeny v poloze vodorovné shora (PA). S ohledem na náchylnost austenitických ocelí k tvorbě teplých trhlin bylo svařování prováděno s limitovaným tepelným příkonem max. do  $1,0 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$  a teplotou interpass max.  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Použité parametry svařování byly nastaveny a udržovány v rozsahu doporučení výrobce přídatného materiálu. Svařování bylo prováděno v dílenských podmínkách při dodržení bezpečnostních ustanovení pro svařování kovů (obr. P5).



Obr. 2 Zkušební deska pro tupý spoj na plechu podle ČSN EN ISO 15792-1

Jako základní materiál pro svaření zkušebních svarů byla použita austenitická ocel typu X2CrNiMo 17-12-2 o tloušťce 20 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204. Jako podložka byl použit materiál X6CrNiTi 18-10 o tloušťce 8 mm s dokumentem kontroly typu 3.1.B podle ČSN EN 10204.

Při svařování zkušebních svarů byly zaznamenány použité parametry svařování. Na zkušebních deskách byl nesmazatelným způsobem označen základní materiál a číslo tavby. Přenos značení je dokladováno protokolem o přenosu značení odpovědnou osobou. Svařování probíhalo za dozoru autorizované osoby a odpovědné osoby držitele povolení. Každá zkušební deska byla dále na obou stranách označena číslem zkušební desky (obr. P6).

Jako maximální provozní teplota jaderného zařízení byla stanovena držitelem povolení  $T_{\max}$  300 °C.

Tab. 5 Rozdělení ocelí do skupin a podskupin podle TNI CEN ISO/TR 15608 [17]

SKUPINA	PODSKUPINA	DRUH OCELI	TDP podle ČSN EN	OZNAČENÍ ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU podle		
				ČSN 42 0002	ČSN EN 10027-1	ČSN EN 10027-2
1	1.2	Oceli se zaručenou mezí kluzu $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$	10025-2	11 531	S355J2	1.0577
8	8.1	Austenitické korozivzdorné oceli s Cr $\leq 19$ %	10088-2	17 349	X2CrNiMo 17-12-2	1.4404
				17 248	X6CrNiTi 18-10	1.4541

Tab. 6 Chemické složení oceli X2CrNiMo 17-12-2 [21]

Typické chemické složení oceli [%]									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
Min	-	-	-	-	-	16,50	10,00	2,00	-
Max	0,030	1,0	2,00	0,045	0,015	18,50	13,00	2,50	0,110

Tab. 7 Chemické složení oceli X6CrNiTi 18-10 [21]

Typické chemické složení oceli [%]								
	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Ti</b>
Min	-	-	-	-	-	17,00	9,00	-
Max	0,080	1,0	2,00	0,045	0,015	19,00	12,00	0,7

Tab. 8 Chemické složení a CEV oceli S355J2 [22]

Typické chemické složení a CEV oceli [%]								
	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cu</b>	<b>N</b>	<b>CEV</b>
Min	-	-	-	-	-	-	-	-
Max	0,20	0,55	1,60	0,025	0,025	0,55	-	0,47

Tab. 9 Mechanické vlastnosti oceli X2CrNiMo 17-12-2 [21]

Typické mechanické hodnoty oceli				
<b>Stav [°C]</b>	<b>R<sub>p0.2</sub> [MPa]</b>	<b>R<sub>m</sub> [MPa]</b>	<b>A<sub>5</sub> [%]</b>	<b>KV-ISO-V [J]</b>
20	> 220	520 - 670	> 45	> 90

Tab. 10 Mechanické vlastnosti oceli X6CrNiTi 18-10 [21]

Typické mechanické hodnoty oceli				
<b>Stav [°C]</b>	<b>R<sub>p0.2</sub> [MPa]</b>	<b>R<sub>m</sub> [MPa]</b>	<b>A<sub>5</sub> [%]</b>	<b>KV-ISO-V [J]</b>
20	> 200	520 - 720	> 40	> 90

Tab. 11 Mechanické vlastnosti oceli S355J2 [22]

Typické mechanické hodnoty oceli				
<b>Stav [°C]</b>	<b>R<sub>eH</sub> [MPa]</b>	<b>R<sub>m</sub> [MPa]</b>	<b>A<sub>5</sub> [%]</b>	<b>KV-ISO-V (-20 °C) [J]</b>
20	> 345	470 - 630	> 20	> 27

### 3.5 Charakteristika ocelí

X2CrNiMo 17-12-2 je austenitická, svařitelná ocel s velmi nízkým obsahem uhlíku, odolná proti mezikrystalové korozi. Ocel je vhodná pro stavbu chemických zařízení včetně tlakových nádob provozovaných v prostředí neoxidační povahy do středních teplot. V podmínkách, které vyvolávají mezikrystalovou korozi je odolná včetně svarových spojů při dlouhodobém působení zvýšených teplot do 350 °C [21].

X6CrNiTi 18-10 je austenitická, svařitelná stabilizovaná ocel odolná proti mezikrystalové korozi. Ocel je vhodná pro stavbu chemických zařízení včetně tlakových nádob provozovaných v prostředí oxidační povahy za zvýšených teplot [21].

S355J2 je jemnozrnná konstrukční ocel se zvýšenými hodnotami mechanických vlastností, se zaručenou vrubovou houževnatostí do minusových teplot a s omezeným sklonem ke stárnutí. Ocel je vhodná na svařované trubky, pro stavbu svařovaných nosných konstrukcí, dopravních zařízení a vozidel. Pásky ve svitcích jsou vhodné na svařované trubky se šroubovým svarem [22].

### 3.6 Svařitelnost ocelí

Austenitické oceli mají přibližně o 50 % větší tepelnou roztažnost a 30 % nižší tepelnou vodivost než oceli feritické. Při svařování se to projevuje vznikem větších deformací a napětí v porovnání s feritickými ocelmi. Vzhledem k austenitické struktuře mají tyto oceli lepší tažnost a houževnatost než uhlíkové a nízkolegované oceli. Z vlastností svarového kovu je nejvíce požadovaná pevnost a houževnatost. Všeobecně je známo, že vlastnosti svarových kovů obvykle nedosahují pevnostních vlastností a houževnatosti základního materiálu. Z pevnostních vlastností je nutné upozornit na poměr meze kluzu a meze pevnosti  $R_e / R_m$ , který je u svarových spojů vyšší než u základních materiálů. Vlastnosti svarových kovů výrazně ovlivňuje mikrostruktura, velikost zrn, atd. Mikrostrukturu svarového kovu je možné ovlivnit dostatečným množstvím hlavních legujících prvků Cr-Ni-Mo (hm. %) a dále optimálními parametry svařování [1, 2].

Svařitelnost austenitických Cr-Ni-Mo korozivzdorných ocelí ovlivňují tři hlavní faktory:

- náchylnost k tvorbě tepelných trhlin,
- precipitace karbidů chromu, jejímž důsledkem je MKK,
- zkřehnutí vznikem  $\sigma$ -fáze.

Pro snížení náchylnosti na vznik teplých trhlin se doporučuje:

- použít přídatné materiály s nízkým obsahem nečistot a zvýšeným obsahem Mn,
- snížit tuhost upnutí spoje, tedy snížit napětí ve svaru,
- použít nízký tepelný příkon, tím zabránit vzniku širokých svarových lázní a tím se současně sníží růst zrn v pásmu přehřátí TOO,
- snížit teplotu interpass na max. 150 °C,
- snížit rychlost svařování,
- poměr šířky a výšky svarové lázně má být přibližně 1 až 1,5.

Zvýšení odolnosti proti mezikrystalové korozi je možné zajistit potlačením vzniku precipitace karbidů chromu, která závisí na:

- chemickém složení oceli,
- době setrvání v oblasti kritických teplot,
- stabilizaci oceli,
- tepelném a mechanickém zpracování oceli.

Činitelé, kteří podporují vznik  $\sigma$  fáze jsou [2]:

- feritotvorné prvky (Si, Al, Ti, Mo, Nb), které vyvolávají vznik chromem bohatší fáze  $\alpha$  a usnadní přeměnu  $\sigma$  fáze ,
- karbidotvorné prvky (Ti, Zr, Nb, Ta), které zabrání vazbě chromu na karbidy a tak se posunuje obsah chromu k vyšším obsahům,
- heterogenita taveb, lokální obohacení fáze  $\alpha$  chromem,
- místní přesycení chromem při rychlém ochlazení,
- vliv teploty ohřevu v kritické oblasti, která umožní zvýšení rychlosti difuze a tím se zvýší množství vyloučené  $\sigma$  fáze,
- únava za tepla.

### **3.7 Nedestruktivní zkoušky**

Před zahájením NDT zkoušek byla způsobilost pracovníků provádějících NDT zkoušky ověřena a doložena kopiemi platných certifikátů podle ČSN EN 473 Level II nebo Level III.

Všechny zkušební svary byly po svaření odzkoušeny v rozsahu 100%:

- Vizuální kontrolou podle ČSN EN 970. Požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817.
- Kapilární zkouškou podle ČSN EN 571-1. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 1289.
- Radiografickým zkoušením podle ČSN EN 1435 ve třídě zkoušení B. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1.

Protokoly z výsledků všech zkoušek, včetně radiogramů a fotodokumentace z kapilárních zkoušek byly předány k posouzení autorizované osobě.

### **3.8 Zkoušené vlastnosti svarových kovů**

Veškeré mechanické zkoušky a zkoušky chemického složení byly prováděny v akreditovaných zkušebnách a laboratořích.

#### **3.8.1 Chemické složení svarových kovů**

Chemické složení svarových kovů je dokladováno specifikací výrobce přídatného materiálu, ve kterých jsou uvedeny limitní obsahy prvků a škodlivých příměsí. Chemické složení svarových kovů bylo dále experimentálně ověřeno optickou emisní spektrometrií na zkušebních návarech zhotovených minimálně na 5 vrstvách svarového kovu. Zkoušky byly provedeny podle standardu ASTM. Zjištěné chemické složení návarů musí odpovídat specifikaci výrobce. Specifikace výrobce přídatného materiálu bude tvořit základ schvalovacího listu přídatného materiálu.

Návary pro zkoušky chemického složení byly provedeny na základním materiálu S355J2 o tloušťce 40 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204 v 7 vrstvách svarového kovu (obr. P7).

V tabulce č. 2 je uvedeno chemické složení svarového kovu obalené elektrody OK 63.25 N o Ø 2,5; 3,2; 4,0 mm.

### **3.8.2 Základní mechanické vlastnosti**

Svarové kovy elektrody OK 63.25N všech průměrů byly odzkoušeny v následujícím rozsahu:

- Podélná zkouška tahem svarového kovu podle ČSN EN 876, vyhodnoceno  $R_m$ ;  $R_{p0,2}$ ;  $A_5$ ;  $Z$ .
- Zkouška rázem v ohybu podle ČSN EN 875, vyhodnoceno KCV, KCU2.

Zkoušky tahem byly provedeny při teplotě 20, 300 a 350 °C na dvou zkušebních tyčích při každé teplotě. Zkoušky rázem v ohybu s vruby typu U a V o hloubce 2 mm, byly provedeny při teplotě 20 °C na třech zkušebních tyčích.

Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám původního přídatného materiálu EA 400/10T a EA 400/10TA.

### **3.8.3 Obsah δ feritu**

Ve všech navařených svarových kovech byl na přístroji FC-2 stanoven obsah δ feritu. Požadovaný obsah je podle původního přídatného materiálu 2 až 8 %. Návary pro stanovení obsahu δ feritu byly provedeny na základním materiálu S355J2 o tloušťce 40 mm ve 14 vrstvách svarového kovu (obr. P8).

### **3.8.4 Zkouška MKK**

Podle normy GOST 6032-58 metodou AM byla na všech svarových kovech stanovena jejich odolnost proti MKK (3 vzorky zkušební a 2 vzorky kontrolní). Svarové kovy musí být odolné proti MKK.

### **3.8.5 Stanovení odolnosti proti vzniku trhlin za tepla**

Stanovení odolnosti všech zkušebních svarových spojů proti vzniku trhlin za tepla bylo provedeno podle metodiky PN ŽAZ-312-1-87. Kritériem pro vyhodnocení bylo, že na žádném zkoušeném vzorku nebudou při metalografickém vyhodnocení a vizuálním hodnocení svarových housenek identifikovány tepelné trhliny [24].

## **4 Ověřovací zkoušky svarových kovů drátu INERTROD 316 LSi**

### **4.1 Metoda svařování**

Pro ověřovací zkoušky drátu INERTROD 316 LSi byla použita metoda ručního svařování netavicí se wolframovou elektrodou v inertním plynu. Číselné označení metody 141 podle normy ČSN EN ISO 4063 [15]. Jedná se o metodu, při které oblouk hoří mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou v ochraně inertního plynu a přídavný materiál je do oblouku podáván samostatně (obr. P9). Svařování metodou TIG se zajišťuje výjimečně čisté a vysoce kvalitní svary. Protože nevzniká žádná struska, je sníženo na minimum riziko vměstků ve svarovém kovu a hotové svary nevyžadují žádné čištění. Metodu TIG lze použít téměř pro všechny kovy a hodí se jak pro ruční, tak pro automatizované svařování. Nejvíce se používá na svařování hliníku a nerezavějících ocelí, kde je absolutně nejdůležitější celistvost svaru. Metoda se široce aplikuje v jaderném, leteckém, chemickém a potravinářském průmyslu [3].



## 4.2 Svařovací zdroj

Pro metodu ručního obloukového svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (141) byl použit invertorový svařovací zdroj SELCO Genesis 302 AC/DC, zapojený do sestavy s tlakovou láhví inertního plynu a redukčního ventilu zabezpečující požadovaný tlak plynu s nastavitelným průtokem (obr. 3).



Obr. 3 Invertorový svařovací zdroj SELCO Genesis 302 AC/DC

## 4.3 Přídavný materiál

Pro svařování byl použit svařovací drát obchodního označení INERTROD 316 LSi o  $\varnothing$  1,6; 2,0; 2,4; 3,2 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204. Jedná se o přídavný materiál, který je určený pro svařování austenitických ocelí stabilizovaných i nestabilizovaných a korozně odolných Cr-Ni-Mo ocelí (obr. P10). Výrobce přídavného materiálu AIR LIQUIDE WELDING FRANCE [6].

## Svařovací proud

DC (-) stejnosměrný proud, zapojení wolframové elektrody na mínus pól [6]

## Ochranný plyn

I1 inertní plyn obsahující 100 % Ar [6]

Tab. 12 Označení drátu INERTROD 316 LSi [6]

Drát	SFA/AWS A 5.9	EN 12072
INERTROD 316 LSi	ER 316 L Si	W 19 12 3 L Si

Tab. 13 Chemické složení svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi [6]

Typické chemické složení svarového kovu [%]									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co
Min	-	0,30	1,20	-	-	18,00	11,00	2,30	-
Max	0,030	1,00	2,50	0,030	0,020	20,00	14,00	3,00	0,05
Delta ferit (FC2) 2 - 8 [%]									

Tab. 14 Mechanické vlastnosti svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi [6]

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu					
Stav	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KV-ISO-V [J]
20	> 274	> 441	> 27	> 43	> 40

Tab. 15 Produkt data drátu INERTROD 316 LSi [6]

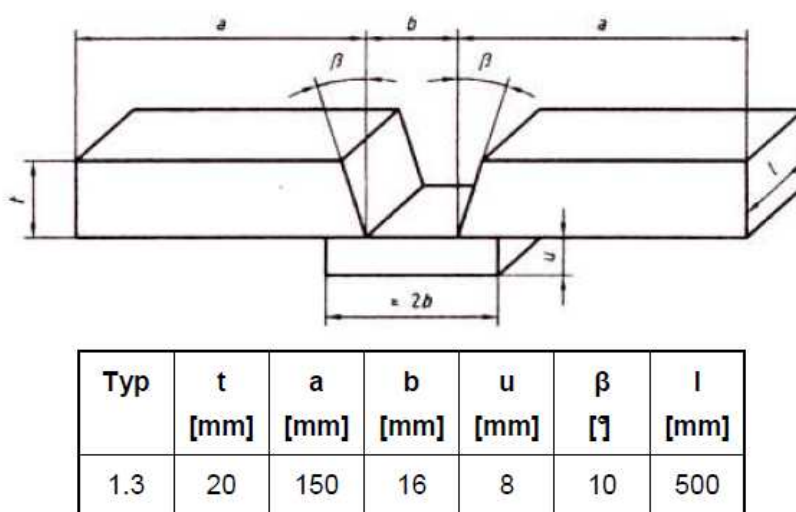
Ø [mm]	1,6	2,0	2,4	3,2
Délka [mm]	1000			
Balení [kg]	5 / 10			

#### 4.4 Příprava a svařování zkušebních svarů

Pro jednostranné svařování zkušebních desek byly zvoleny svarové plochy podle normy ČSN EN ISO 15792-1 (obr. 4).

Svary pro odběr zkušebních vzorků byly svařeny svářečem s osvědčením o zkoušce podle ČSN EN 287-1 141 P BW 8 t20,0 PA ss mb (obr. P11), v rozsahu platnosti pro daný typ a velikost svarového spoje [16].

Zkušební deska byla svařena v poloze vodorovné shora (PA). S ohledem na náchylnost austenitických ocelí k tvorbě teplých trhlin bylo svařování prováděno s limitovaným tepelným příkonem max. do  $1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$  a teplotou interpass max.  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Použité parametry svařování byly nastaveny a udržovány v rozsahu doporučení výrobce přídatného materiálu. Svařování bylo prováděno v dílenských podmínkách při dodržení bezpečnostních ustanovení pro svařování kovů (obr. P12).



Obr. 4 Zkušební deska pro tupý spoj na plechu podle ČSN EN ISO 15792-1

Jako základní materiál pro svaření zkušebních svarů byla použita austenitická ocel typu X2CrNiMo 17-12-2 o tloušťce 20 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204. Jako podložka byl použit materiál X6CrNiTi 18-10 o tloušťce 8 mm s dokumentem kontroly typu 3.1.B podle ČSN EN 10204.

Při svařování zkušebních svarů byly zaznamenány použité parametry svařování. Na zkušebních deskách byl nesmazatelným způsobem označen základní materiál a číslo tavby. Přenos značení je dokladováno protokolem o přenosu značení odpovědnou osobou. Svařování probíhalo za dozoru autorizované osoby a odpovědné osoby držitele povolení. Každá zkušební deska byla dále na obou stranách označena číslem zkušební desky (obr. P13).

Jako maximální provozní teplota jaderného zařízení byla stanovena držitelem povolení  $T_{\max}$  300 °C.

#### **4.5 Nedestruktivní zkoušky**

Před zahájením NDT zkoušek byla způsobilost pracovníků provádějících NDT zkoušky ověřena a doložena kopiemi platných certifikátů podle ČSN EN 473 Level II nebo Level III.

Všechny zkušební svary byly po svaření odzkoušeny v rozsahu 100%:

- Vizuální kontrolou podle ČSN EN 970. Požadovaný stupeň jakosti B podle ČSN EN ISO 5817.
- Kapilární zkouškou podle ČSN EN 571-1. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 1289.
- Radiografickým zkoušením podle ČSN EN 1435 ve třídě zkoušení B. Stupeň přípustnosti 1 podle ČSN EN 12517-1.

Protokoly z výsledků všech zkoušek, včetně radiogramů a fotodokumentace z kapilárních zkoušek byly předány k posouzení autorizované osobě.

#### **4.6 Zkoušené vlastnosti svarových kovů**

Veškeré mechanické zkoušky a zkoušky chemického složení byly prováděny v akreditovaných zkušebnách a laboratořích.

#### 4.6.1 Chemické složení svarových kovů

Chemické složení svarových kovů je dokladováno specifikací výrobce přídatného materiálu, ve kterých jsou uvedeny limitní obsahy prvků a škodlivých příměsí. Chemické složení svarových kovů bude dále experimentálně ověřeno optickou emisní spektrometrií na zkušebních návarech zhotovených minimálně na 5 vrstvách svarového kovu.

Zjištěné chemické složení návarů musí odpovídat schvalovacímu listu přídatného materiálu vydaný autorizovanou osobou.

Návary pro zkoušky chemického složení byly provedeny na základním materiálu X2CrNiMo 17-12-2 o tloušťce 20 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204 v 7 vrstvách svarového kovu (obr. P14).

V tabulce č. 13 je uvedeno chemické složení svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi o  $\varnothing$  1,6; 2,0; 2,4 a 3,2 mm.

#### 4.6.2 Základní mechanické vlastnosti

Svarové kovy drátu INERTROD 316 LSi všech průměrů byly odzkoušeny v následujícím rozsahu:

- Podélná zkouška tahem svarového kovu podle ČSN EN 876, vyhodnoceno  $R_m$ ;  $R_{p0,2}$ ;  $A_5$ ;  $Z$ .
- Zkouška rázem v ohybu podle ČSN EN 875, vyhodnoceno KV.

Zkoušky tahem byly provedeny při teplotě 20 °C na dvou zkušebních tyčích. Zkoušky rázem v ohybu s vruby typu V o hloubce 2 mm, byly provedeny při teplotě 20 °C na třech zkušebních tyčích.

Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám ve schvalovacím listu přídatného materiálu vydaný autorizovanou osobou.

#### **4.6.3 Obsah $\delta$ feritu**

Ve všech navařených svarových kovech byl na přístroji FC-2 stanoven obsah  $\delta$  feritu. Požadovaný obsah je podle původního přídatného materiálu 2 až 8 %. Návary pro stanovení obsahu  $\delta$  feritu byly provedeny na základní materiál X2CrNiMo 17-12-2 o tloušťce 20 mm s dokumentem kontroly typu 3.1 podle ČSN EN 10204 v 7 vrstvách svarového kovu.

### **5 Monitoring a dokumentační záznamy svařovacího procesu**

#### **5.1 Monitoring svařovacího procesu**

Při svařování a navařování zkušebních desek byly standardními způsoby zaznamenány parametry svařování formou písemných záznamů (obr. P15 - P18). Pro tyto způsoby měření byla použita standardní kontrolní měřidla, umožňující dílčí záznam základních proměnných veličin procesu svařování. U vybraných průměrů přídatného materiálu bylo z důvodu řízeného sběru dat s možností zpětné analýzy provedeno snímání svařovacích parametrů pomocí zařízení WeldMonitor, umožňující lépe zdokumentovat průběh svařování (obr. P19 - P31). Digitální moduly zařízení WeldMonitor jsou se svařovacím zdrojem a počítačovou stanicí propojeny data kabely (obr. P32, P33). Zařízení je vytvořeno, kalibrováno, verifikováno a validováno pro kontrolu svařovacích parametrů.

Tab. 16 Zkušební desky snímané WeldMonitorem

Zkušební deska č.	Svar dle WDS č.	Přídavný materiál	Průměr [mm]	Počet měřených housenek / ks	Počet navařených housenek / ks
1	1.1N	OK 63.25 N	2,5	13	38
2	1.2N	OK 63.25 N	2,5	13	38
3	2.1N	OK 63.25 N	3,2	26	26
4	2.2N	OK 63.25 N	3,2	23	23
5	3.1N	OK 63.25 N	4,0	21	21
6	3.2N	OK 63.25 N	4,0	21	21
1.1	1.1	INERTROD 316 LSi	1,6	47	47
4.1	4.1	INERTROD 316 LSi	3,2	33	33

### 5.1.1 Měřené veličiny svařovacího procesu

V průběhu svařování a navařování zkušebních desek za účelem osvědčovacích a ověřovacích zkoušek přídavných materiálů byl prováděn kvalifikovaným pracovníkem dozoru svařování záznam svařovacích parametrů pomocí standardních kontrolních měřidel. Dále pomocí digitálních modulů zařízení WeldMonitor, bylo kvalifikovanou osobou držitele povolení provedeno kontrolní snímání a uložení těchto veličin procesu svařování:

- čas svařování -  $t$  [s],
- napětí -  $U$  [V],
- proud -  $I$  [A],
- měrný tepelný příkon -  $Q$  [ $\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ ],
- průtok ochranných plynů [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ],
- teplota svařovaného materiálu -  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

## 5.2 Standardní kontrolní měřidla

Standardní kontrolní měřidla tvoří nezbytnou technickou podporu pro výkon plánovaného nebo operativního dohledu nad svařováním jaderných zařízení (obr. 5). Jejich spolehlivost, konstrukční provedení, požadovaná přesnost měření a cenová relace umožňuje dostupné vybavení svářečského a kontrolního personálu v oblasti výroby, montáže a oprav zařízení. Jejich rychlé nasazení a okamžité měření, umožňuje provést mezioperační kontrolu včetně vyhodnocení správnosti daného procesu. Technická způsobilost digitálních měřidel se ověřuje ve stanoveném intervalu 1 x za rok, u ostatních měřidel v intervalu 1 x za 5 let. O provedené kalibraci kontrolních měřidel je vystaven záznam - protokol o kalibraci.

### 5.2.1 Přehled standardních měřidel a pomůcek

- dotykový teploměr
- klešťový voltampérmetr
- průtokoměr plynu
- délková měřidla
- lupa s 5ti násobným zvětšením
- svarové měrky
- konstrukční měrky
- sada zrcadel s osvětlením
- ochranné osobní pomůcky
- stopky
- magnet

### 5.2.2 Technické parametry standardních měřidel

#### Klešťový voltampérmetr

- ~ proud 1000 A
- ~ napětí 600 V
- ≈ proud 1000 A
- ≈ napětí 600 V
- el. odpor 400 Ω



### Dotykový teploměr

- rozsah teploty -10 °C až 750 °C (dotyková sonda)
- rozsah teploty -10 °C až 350 °C (termo články)



Obr. 5 Standardní kontrolní měřidla

### 5.3 Zařízení WeldMonitor

Zařízení WeldMonitor umožňuje spolehlivě monitorovat a zdokumentovat proces svařování jaderných zařízení a zajistit tak reprodukovatelnost svarových spojů v co nejvyšší kvalitě. Dále umožňuje zefektivnit, optimalizovat proces svařování a tím usnadnit práci všem pracovníkům v oblasti svařování a kontroly. Zařízení včetně příslušenství je mobilní a tím přenositelné na každé výrobní a montážní pracoviště (obr. 6, 7). Technická způsobilost digitálních měřících modulů se ověřuje ve stanoveném intervalu 1 x za rok. O provedené kalibraci měřících modulů a validaci celého zařízení je vystaven záznam - protokol o kalibraci, validaci.

#### 5.3.1 WeldMonitor Hardware

- Lze připojit na libovolný svařovací zdroj bez ohledu na jeho typ, výrobce a počet.
- Monitoruje průběh svařovacího proudu a napětí (modul WM-UI).

- V reálném čase měří s vysokou přesností efektivní hodnoty těchto veličin a zároveň kalkuluje důležitou veličinu při svařování, tzv. vnesené teplo.
- Umožňuje velmi rychlé sledování průběhu svařovacího napětí a proudu, kdy jsou zaznamenány změny napětí a proudu, provádí tedy diagnostiku zkratových, impulsních a sprchových svařovacích procesů.
- Je odolný proti průmyslovému rušení v automatizovaném procesu svařování.
- Moduly jsou kalibrovány výrobcem zařízení a akreditovanou kalibrační laboratoří.
- Celý měřicí systém je výrobcem validován v souladu s normou ČSN EN ISO 17662, Svařování - Kalibrace, verifikace a validace zařízení používaných pro svařování, včetně příbuzných činností.

Při provozu a testování systému WeldMonitor, byly na základě zkušeností, provedeny dodatečné úpravy v oblasti hardware:

- Úprava elektroniky v modulu měření proudu a napětí pro rychlé kontinuální měření svařovacího proudu.
- Náhrada komunikačního modulu z rozhraní LPT na USB pro rychlé měření.
- Náhrada datového kabelu za nový kabel pro rychlé měření.
- Úprava odolnosti systému pro svařování metodou 141 (TIG).
- Úprava modulu kontaktního systémového snímače teploty s lokálním zobrazením měřené veličiny.
- Úprava komunikační rozhraní pro termočláňkové snímače.

### **5.3.2 Přehled digitálních modulů**

- modul pro manuální ovládání programu
- modul pro snímání proudu a napětí
- snímač relativní vlhkosti vzduchu v okolí
- snímač teploty vzduchu v okolí
- snímač teploty materiálu
- snímač posuvu drátu
- snímač rychlosti pojezdu
- snímač průtoku plynu

### 5.3.3 Technické parametry digitálních modulů

- napětí  $\pm 100$  V a proud  $\pm 1000$  A s vysokou přesností
- odpor elektrického obvodu  $200 \Omega$
- rychlost podávání a spotřeba svařovacího drátu  $0$  až  $20 \text{ m.s}^{-1}$
- průtok a spotřeba plynu ochranné atmosféry  $0$  až  $20 \text{ l.min}^{-1}$
- teplota svařovaného materiálu  $-100$  °C až  $1200$  °C



Obr. 6 Digitální měřící moduly zařízení WeldMonitor



Obr. 7 Soubor měřících modulů zařízení WeldMonitor

### 5.3.4 WeldMonitor Software

Program umožňuje snímat a zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat. Dále program umožňuje tisk protokolů dle stávajících evropských a mezinárodních norem v oblasti svařování podle ČSN EN ISO 15609-1, ČSN EN ISO 15614-1 a dalších [18, 19]. Je určen pro prostředí operačního systému Windows 9x/NT/2000/XP/VISTA/7 [4].

Program má zakomponované dílčí databáze firem, svářečů a jejich osvědčení o zkouškách, zařízení, základních materiálů, přídavných materiálů, plynů, dozorů svařování, postupů svařování, vyčíslení nákladů na daný svár, vytvořených protokolů a záznamy o průběhu svařování jednotlivých svarů s možností uložení digitálních fotografií [4].

Provozem systému WeldMonitor byly definovány a provedeny tyto dodatečné úpravy v oblasti software:

- Úprava UI-laboratoře pro rychlý kontinuální záznam měřených veličin.
- Úprava postupu s možností zadání různých délek housenek svarového spoje.
- Úprava zobrazení veličiny „počet zkratů“ ve standardních grafech.
- Úprava v evidenci dozoru a pověřených osob v oblasti svařování.
- Možnost přidávání obrázků do databáze svarů.
- Úprava modulu pro export svarů.
- Úprava WPQR protokolu, který může nově obsahovat svary i s různými postupy svařování.
- Možnost ukládání (zálohování) dat na externí disk se zvýšenou mechanickou odolností.
- Úprava kompatibility (rozhraní) WeldMonitoru s operačním systémem Windows XP, VISTA, 7.
- Rozšířená volitelnost jazyků tisku jednotlivých protokolů (AJ, NJ, SJ).

### **5.3.5 WeldMonitor WDS server**

Systém WeldMonitor umožňuje monitorovat obloukové metody svařování. Po zapojení jednotlivých snímačů ke svařovacímu zdroji a k řídicímu PC se provede spuštění programu přes server WDS (Welding Data Server, obr. 8).

V okně serveru WDS zvolíme druh svařovacího proudu a zadáme číslo svaru, skupinu svarů, název postupu svařování, jméno svářeče, délku svaru a použité zařízení. Po přípravě svářeče pro samotné svařování se spustí záznam tlačítkem START na komunikačním modulu. Od této chvíle se veškerá data zaznamenávají do centrálních databází programu. Po skončení housenky stiskneme tlačítko STOP a po dokončení svaru stiskneme tlačítko END.



Provozem systému WeldMonitor byly definovány a provedeny tyto dodatečné úpravy v oblasti serveru:

- Úprava panelu WDS umožňující snadné nastavení skutečné délky svarové housenky, podle způsobu kladení jednotlivých housenek např. ovlivněno složitostí tvaru svařence.
- Úprava panelu WDS umožňující zobrazení měřené veličiny „počet zkratů“ za  $s^{-1}$ , charakterizující daný způsob přenosu kovu v obloku, včetně určení jejich vzájemných hranic.



Obr. 8 Welding Data Server

### 5.3.6 WeldMonitor PC stanice

Program WeldMonitor je určen pro osobní počítače a notebooky s operačním systémem Windows 9x/NT/2000/XP/VISTA/7. Počítačová stanice (PC stanice) zajišťuje příjem dat a povelů z měřicích modulů, jejich zobrazení, archivaci a následné vyhodnocení. PC stanici je možno připojit do lokální sítě (LAN), případně do sítě širšího rozsahu (WAN) a přistupovat přes standardní datová rozhraní k naměřeným hodnotám.

Nástrojem pro spolehlivé zajištění výše uvedených operací je PC stanice HP NX 7010, která je vybavena procesorem Intel Centrino 1,6 GHz, paměťovým modulem 1GB, pevným a externím diskem o velikosti 320 GB, rozhraním 1x Firmware a 3 x USB 2.0, pracující v prostředí operačního systému Windows XP (obr. 9).



Obr. 9 PC stanice HP NX 7010 v systému WeldMonitor

#### 5.4 Záznamy z průběhu svařovacího procesu

Systém WeldMonitor snímá celý průběh veličin ovlivňujících kvalitu svarů. Tyto průběhy je možné vytisknout jako výpis nebo v podobě grafů a přiložit k nim standardní svarovou dokumentaci. V těchto záznamech jsou přímo uvedeny použité tzv. nasnímané svařovací parametry, nikoliv nepřesné, odhadnuté nebo ručně zadané údaje. Shoda svařovacího procesu s požadavky specifikovanými v dokumentovaných postupech a pracovních dokumentech pro jeho daný proces je možné dokladovat záznamy formou tištěných protokolů, seznamů nebo formou pořízené fotodokumentace.

Do oblasti dohledu nad technickou bezpečností vybraných nebo speciálně navrhovaných jaderných zařízení, v působnosti útvaru Technické bezpečnosti provozovatele, patří i činnosti podporující systém sběru dat, ve všech tzv. zvláštních procesech, včetně svařování.

Získaná data z měření tvoří referenční materiál charakterizující úroveň provedeného procesu. Díky řízenému sběru dat s možností zpětných analýz tvoří systém WeldMonitor nezbytnou technickou podporu dohledu nad svařováním, umožňující dostatečné posouzení svarových spojů včetně jejich reprodukovatelnosti.

Mezi záznamy z průběhu osvědčovacích a ověřovacích zkoušek přídatných materiálů systémem WeldMonitor patří:

**a) Grafy průběhu měřených veličin**

Naměřené veličiny svařovacího procesu dávající přesný obraz o průběhu svařování. Program umožňuje dodatečné prohlížení zadaných údajů i všech měření v různých podobách včetně tiskové podoby (obr. P28).

**b) Graf měření teploty základního materiálu**

Naměřená veličina dávající přesný obraz o průběhu teploty základního materiálu, v procesu svařování nebo tepelného zpracování. Program umožňuje dodatečné prohlížení zadaných údajů i všech měření a to v různých podobách včetně tiskové podoby (obr. P29).

**c) Výpis parametrů svařování**

Naměřené veličiny svařovacího procesu dávající přesný obraz o průběhu svařování, formou záznamu do tabulky naměřených hodnot. Z naměřených údajů lze, při zpětné kontrole jednotlivých veličin zjistit některé odchylky, např. nepravidelnost podávání drátu, omezení přívodu plynu, neočekávané výchylky proudu, napětí a dalších (obr. P30).

**d) Fotodokumentace**

Standardní dokumentace svarových spojů může být doplněna o obrázky, např. jednotlivých svarů, housenek, radiogramů z RT zkoušení. S obrázky lze dál, v programovém modulu, pracovat a ukládat je (obr. P31).



## **6 Vyhodnocení zkoušek svarových kovů přídavných materiálů**

### **6.1 Nedestruktivní posouzení svarových kovů**

Nedestruktivní posouzení svarových kovů bylo provedeno na zkušebních deskách podle schváleného programu osvědčovacích zkoušek pro elektrodu OK 63.25 N a ověřovacích zkoušek pro drát INERTROD 316 LSi v rozsahu:

- zkušební deska č. 1, 2 - svarový kov elektrodou OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební deska č. 3, 4 - svarový kov elektrodou OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- zkušební deska č. 5, 6 - svarový kov elektrodou OK 63.25 N Ø 4,0 mm
- zkušební deska č. 1.1 - svarový kov drátem INERTROD 316 LSi Ø 1,6 mm
- zkušební deska č. 2.1 - svarový kov drátem INERTROD 316 LSi Ø 2,0 mm
- zkušební deska č. 3.1 - svarový kov drátem INERTROD 316 LSi Ø 2,4 mm
- zkušební deska č. 4.1 - svarový kov drátem INERTROD 316 LSi Ø 3,2 mm

#### **6.1.1 Vizualní kontrola svarových kovů**

Během svařování zkušebních desek byla provedena 100 % vizualní kontrola povrchu každé navařené svarové housenky a povrchu svaru každé zkušební desky (obr. P34 - P37).

#### **Předpis a kritérium kontroly**

Vizualní kontrola provedena podle ČSN EN 970.

Kritérium přijatelnosti podle ČSN EN ISO 5817 ve stupni jakosti B.

#### **Použité zařízení, prostředky**

Pro vizualní kontrolu svarových kovů byla použita lupa s 5ti násobným zvětšením a svarové měrky.

## **Vyhodnocení kontroly**

Vizuální kontrola neprokázala přítomnost nevyhovujících vad. Výsledky vizuální kontroly jsou dokumentovány protokolem.

### **6.1.2 Kapilární zkouška svarových kovů**

Po svaření všech zkušebních desek byla provedena 100 % kapilární zkouška povrchu svarových kovů.

#### **Předpis a kritérium zkoušky**

Kapilární zkouška provedena podle ČSN EN 571-1.

Kritérium přijatelnosti podle ČSN EN 1289 ve stupni přípustnosti 1.

#### **Použité zařízení, prostředky**

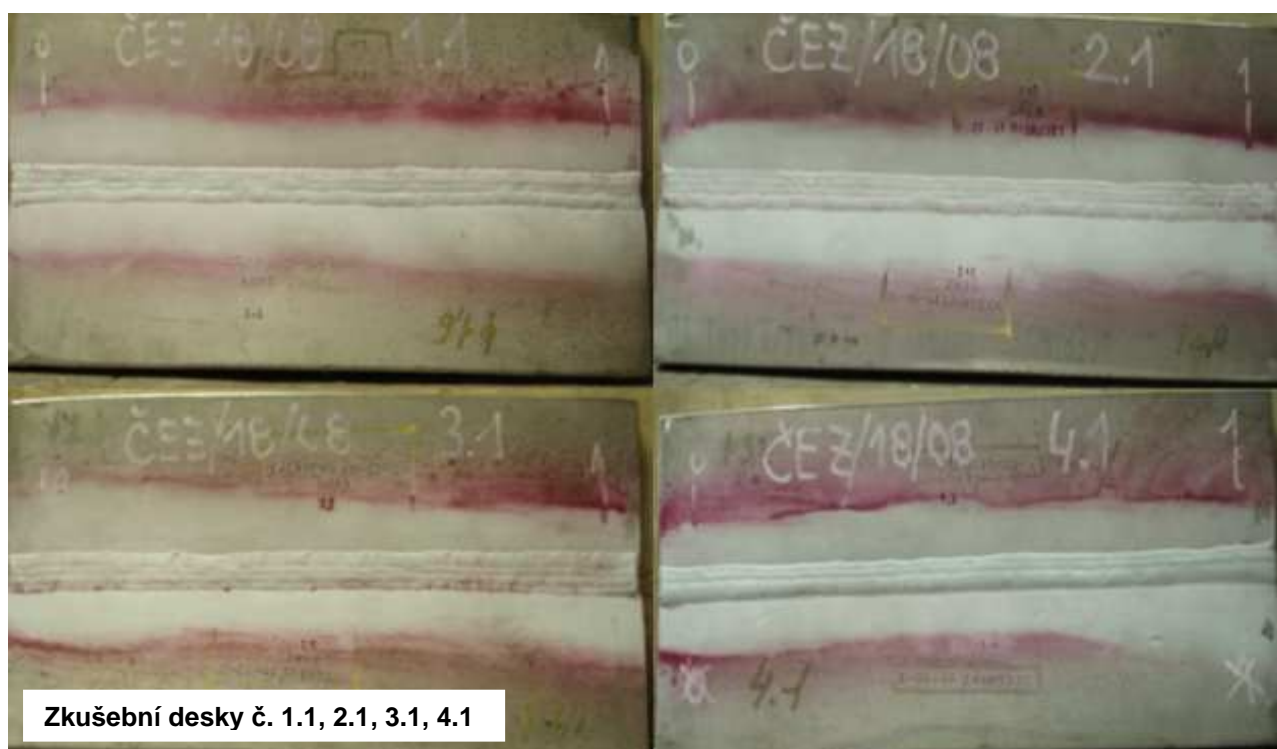
Pro kapilární zkoušku svarových kovů byly použity tyto prostředky, penetrant U88, rozpouštědlo U87 a vývojka U89 od výrobce Helling.

#### **Vyhodnocení zkoušky**

Kapilární zkouška neprokázala přítomnost nevyhovujících vad. Výsledky kapilárních zkoušek jsou dokumentovány protokolem a fotodokumentací (obr. 10, 11).



Obr. 10 Kapilární zkouška svarového kovu desky č. 1 - 6 OK 63.25 N



Obr. 11 Kapilární zkouška svarového kovu desky č. 1.1 - 4.1 INERTROD 316 LSi

### **6.1.3 Radiografická zkouška svarových kovů**

Po svaření všech zkušebních desek byla provedena 100 % radiografická zkouška svarových kovů.

#### **Předpis a kritérium zkoušky**

Radiografická zkouška provedena podle ČSN EN 1435.

Kritérium přijatelnosti podle ČSN EN 12517-1 ve stupni přípustnosti 1.

#### **Použité zařízení, prostředky**

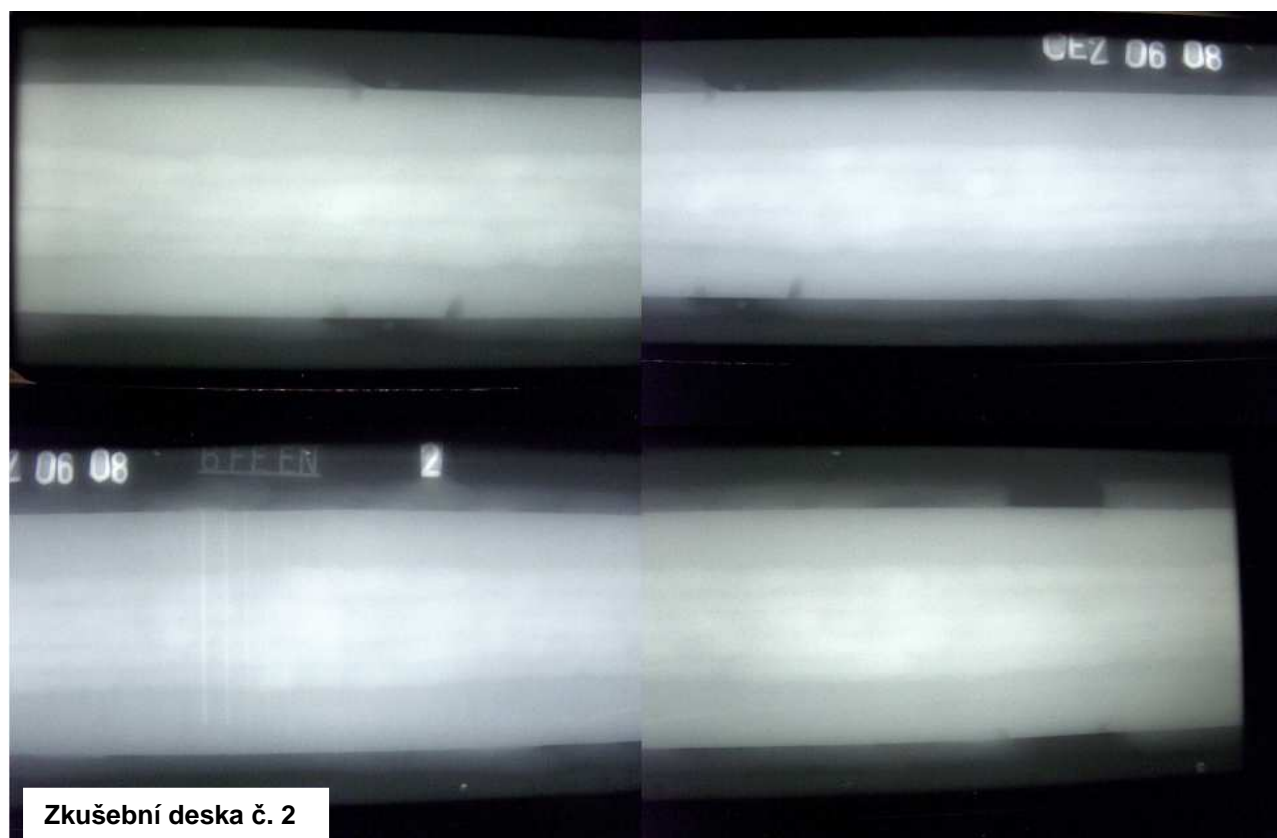
Pro radiografickou zkoušku svarových kovů byl použit zdroj záření Ir 192, film AGFA D5 a měrky 6FEEN.

#### **Vyhodnocení zkoušky**

Radiografická zkouška prokázala pouze u zkušební desky č. 1 a 2 přítomnost plynových dutin Aa, jejichž četnost a velikost je vyhovující požadovanému kritériu. Výsledky radiografických zkoušek jsou dokumentovány protokolem a radiogramem (obr. 12 - 21).



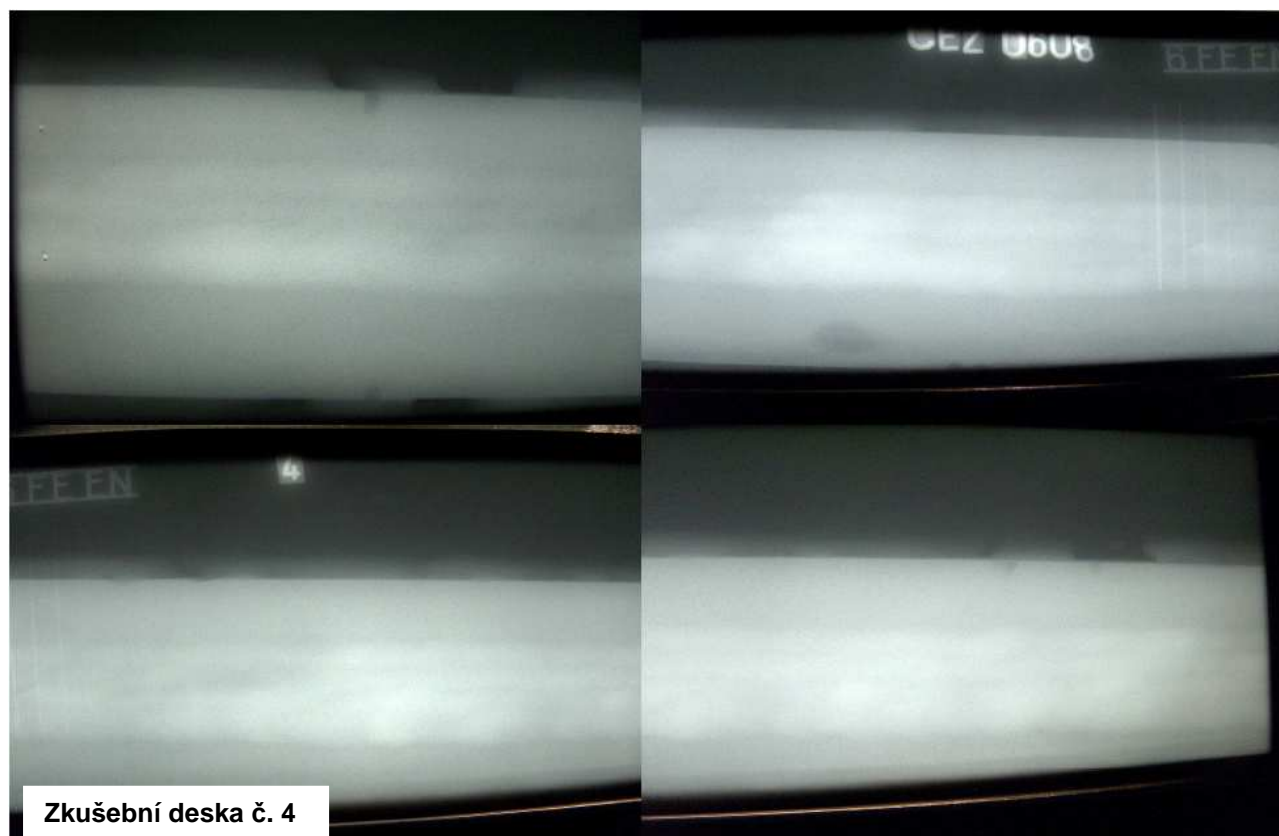
Obr. 12 Radiogram svaru zkušební desky č. 1 OK 63.25 N Ø 2,5 mm



Obr. 13 Radiogram svaru zkušební desky č. 2 OK 63.25 N Ø 2,5 mm



Obr. 14 Radiogram svaru zkušební desky č. 3 OK 63.25 N Ø 3,2 mm



Obr. 15 Radiogram svaru zkušební desky č. 4 OK 63.25 N Ø 3,2 mm

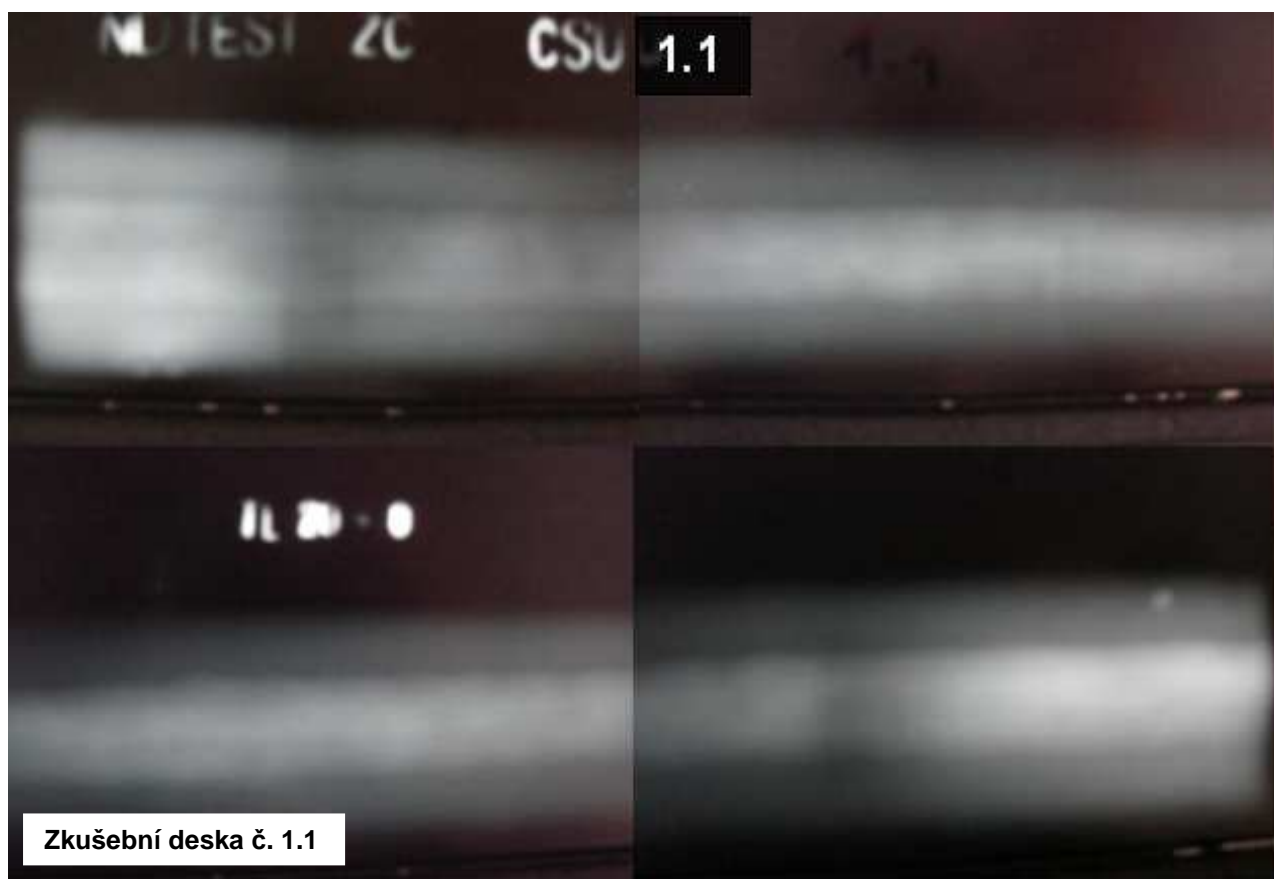


Obr. 16 Radiogram svaru zkušební desky č. 5 OK 63.25 N Ø 4,0 mm

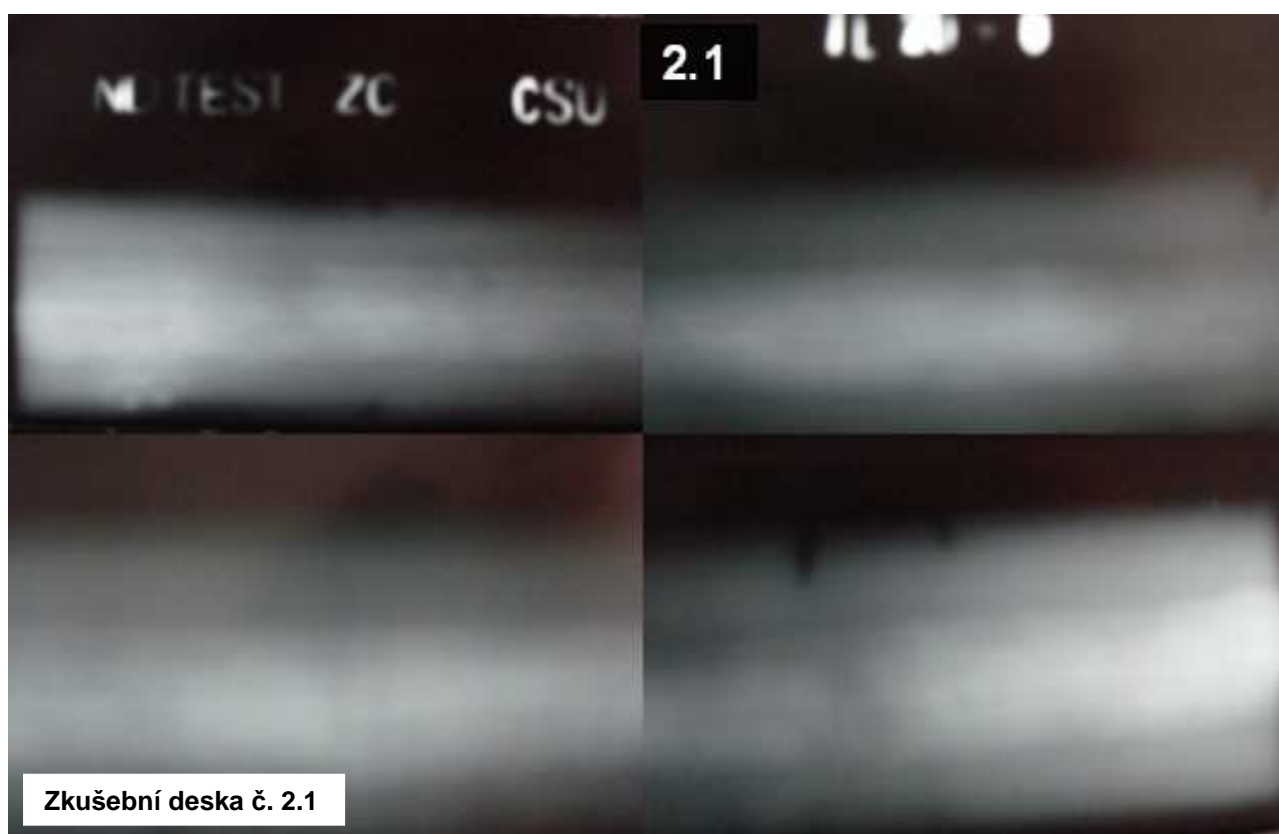


Obr. 17 Radiogram svaru zkušební desky č. 6 OK 63.25 N Ø 4,0 mm



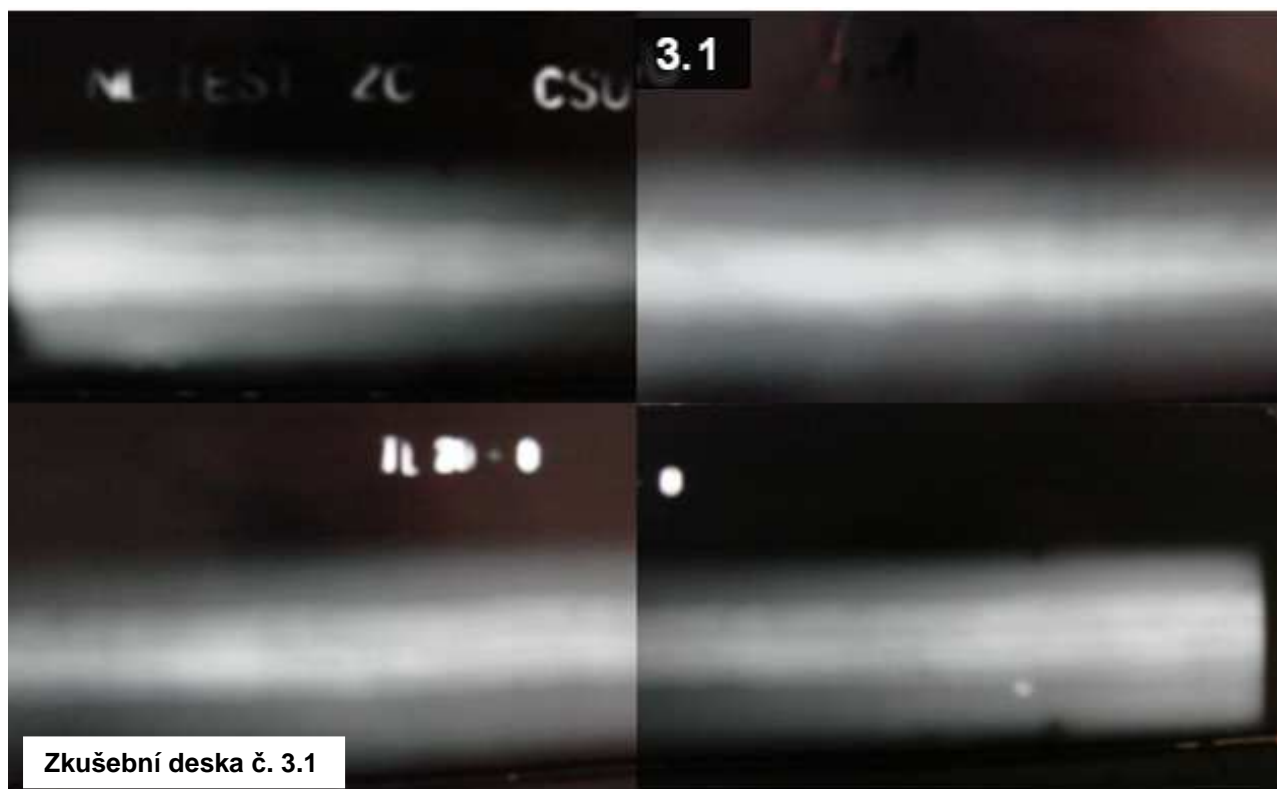


Obr. 18 Radiogram svaru zkušební desky č. 1.1 INERTROD 316 LSi Ø 1,6 mm

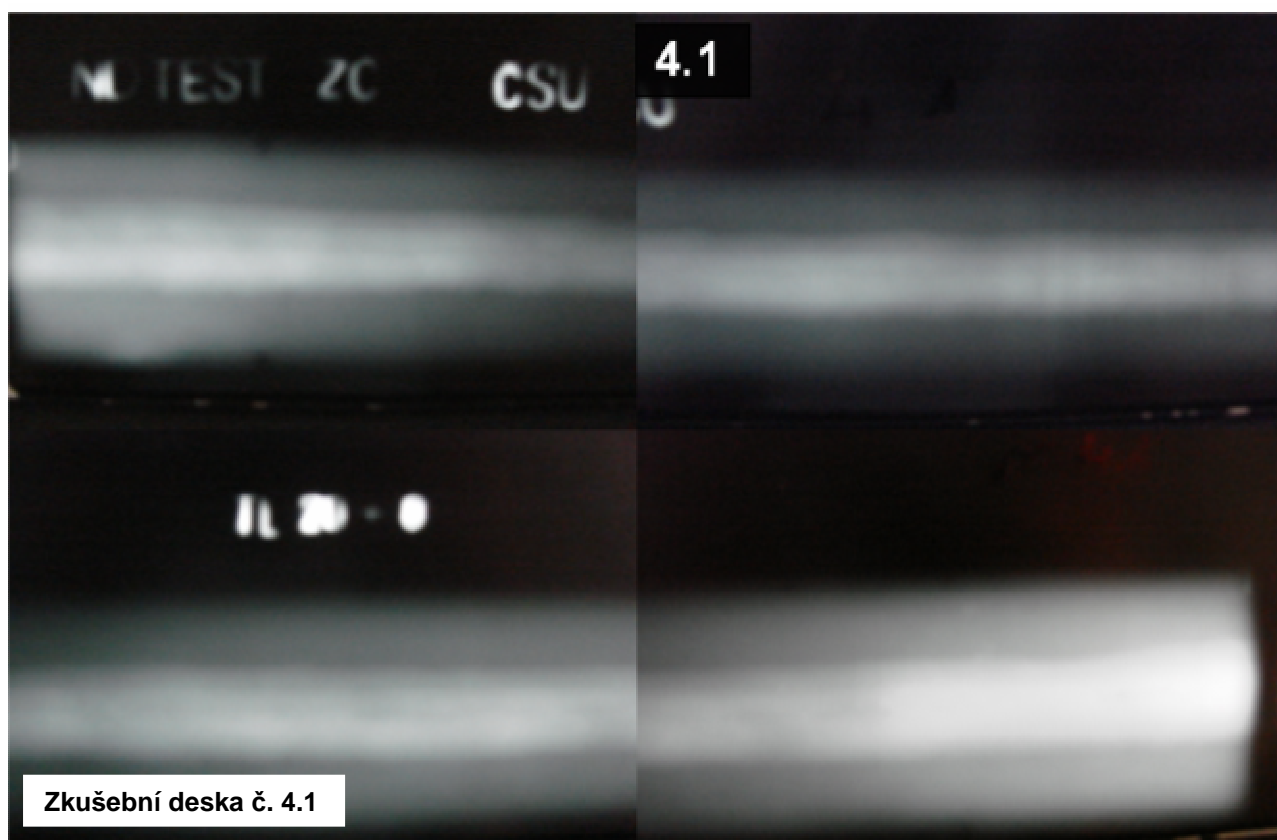


Obr. 19 Radiogram svaru zkušební desky č. 2.1 INERTROD 316 LSi Ø 2,0 mm





Obr. 20 Radiogram svaru zkušební desky č. 3.1 INERTROD 316 LSi Ø 2,4 mm



Obr. 21 Radiogram svaru zkušební desky č. 4.1 INERTROD 316 LSi Ø 3,2 mm

## **6.2 Destruktivní posouzení svarových kovů**

### **6.2.1 Stanovení odolnosti svarových kovů elektrod OK 63.25 N proti vzniku trhlin za tepla**

V průběhu svařování byla vizuální kontrolou u každé navařené svarové housenky posuzována odolnost proti vzniku trhlin za tepla. Dále byla odolnost svarových kovů posuzována metalografickým vyhodnocením na makrovýbrusu svarových kovů (obr. P38).

Makrostruktura svarového kovu posuzována na vzorkách:

- vzorek č. 1/M - elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- vzorek č. 2/M - elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- vzorek č. 3/M - elektroda OK 63.25 N Ø 4,0 mm

#### **Předpis a kritérium kontroly**

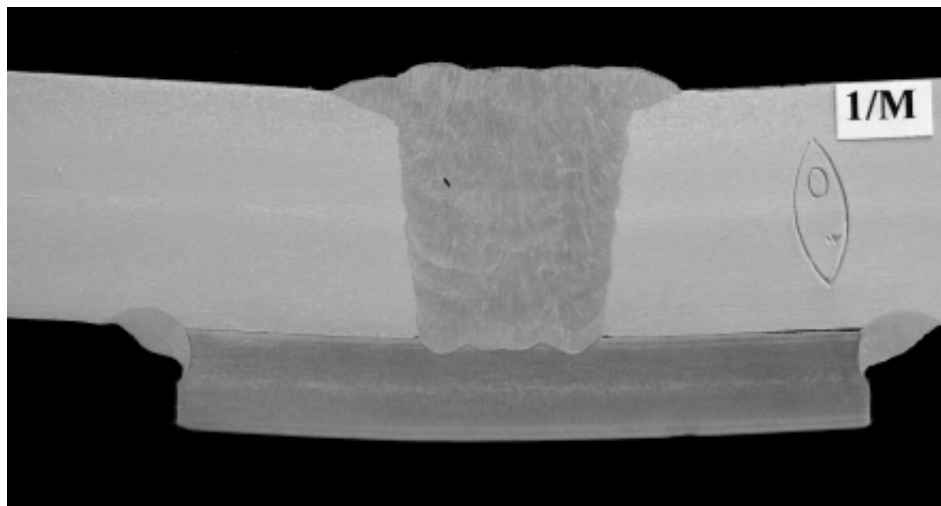
Metalografické zkoušení provedeno podle ČSN EN 1321. Svarový kov, ve stavu po svaření, bez opracovaného povrchu a tepelně nezpracovaný. Kontrola je provedena na jednom příčném řezu při 6 - 7 násobném zvětšení. Odolnost svarového kovu je požadována za vyhovující, pokud není ani při jednom způsobu kontroly zjištěn výskyt trhlin.

#### **Vyhodnocení zkoušky**

Makrostruktura vzorků byla kontrolována po naleptání lepidlem podle Adler - Mattinga a 15 % HNO<sub>3</sub>.

Vzorek č. 1/M (obr. 22)

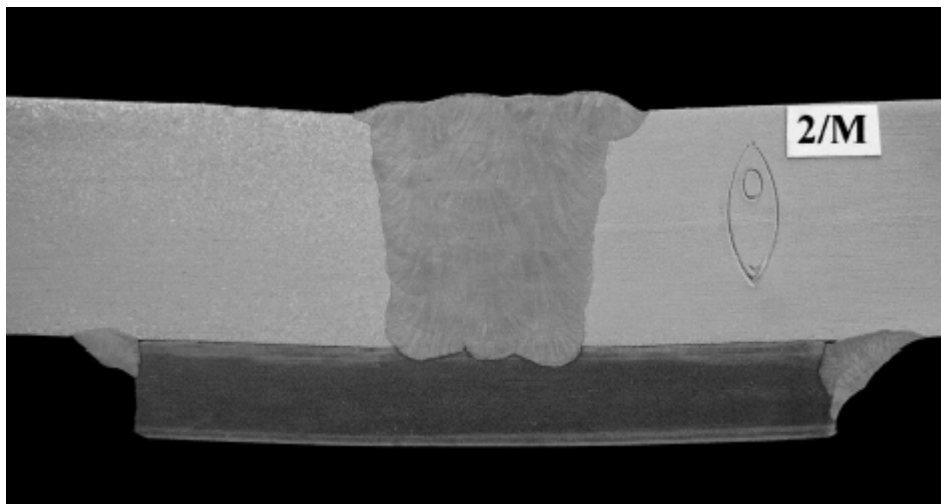
Makrostruktura vzorku svarového kovu neprokázala přítomnost trhlin, pouze byl zjištěn studený spoj o velikosti 1 mm (*studený spoj není vyhodnocovacím kritériem této kontroly*). Vzorek vyhovuje požadovanému kritériu.



Obr. 22 Makrostruktura vzorku č. 1/M (zvětšeno 1x)

Vzorek č. 2/M (obr. 23)

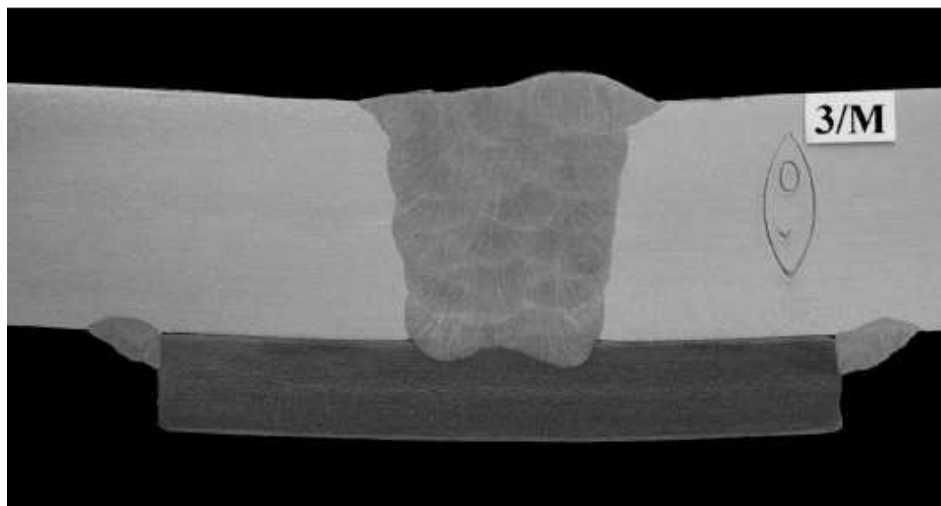
Makrostruktura vzorku svarového kovu neprokázala přítomnost trhlin. Vzorek vyhovuje požadovanému kritériu.



Obr. 23 Makrostruktura vzorku č. 2/M (zvětšeno 1x)

Vzorek č. 3/M (obr. 24)

Makrostruktura vzorku svarového kovu neprokázala přítomnost trhlin. Vzorek vyhovuje požadovanému kritériu.



Obr. 24 Makrostruktura vzorku č. 3/M (zvětšeno 1x)

## 6.2.2 Chemické složení svarových kovů

### 6.2.2.1 Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N

Chemické složení svarových kovů elektrod OK 63.25 N bylo ověřeno optickou emisní spektrometrií na návarech (obr. 25):

- návar č. 1 s označením H01741 - elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- návar č. 2 s označením H01742 - elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- návar č. 3 s označením H01743 - elektroda OK 63.25 N Ø 4,0 mm

### Předpis a kritérium zkoušky

Chemické složení bylo provedeno podle standardu ASTM pomocí přístroje Spectrolab 2000 (obr. P39). Chemické složení svarových kovů musí odpovídat specifikaci výrobce tzv. Produkt Data Sheet a zadávací dokumentaci držitele povolení s požadavkem na obsah Co omezený hodnotou max. 0,05%.

## Vyhodnocení zkoušky

Chemické složení svarových kovů elektrod OK 63.25 N všech průměrů odpovídá specifikaci výrobce a zadávací dokumentaci držitele povolení včetně požadavku na obsah Co. Vyhovující výsledky chemického složení jsou uvedeny v tab. 17 a dokumentovány protokolem.

Tab. 17 Chemické složení svarových kovů elektrod OK 63.25 N

OK 63.25 N	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	Cu
	[ hm % ]									
Ø 2,5 mm	0,027	0,40	1,51	0,015	0,013	19,6	12,4	2,22	0,032	-
Ø 3,2 mm	0,028	0,35	1,45	0,017	0,0112	19,8	12,3	2,22	0,029	-
Ø 4,0 mm	0,029	0,31	1,40	0,019	0,0118	19,4	12,5	2,25	0,031	-
Product Data Sheet	Max 0,035	Max 0,90	0,50 2,50	Max 0,020	Max 0,020	18,0 20,0	12,0 14,0	2,0 2,50	Max 0,10	Max 0,15
Zadávací dokumentace	Max 0,035	Max 0,90	0,50 2,50	Max 0,020	Max 0,020	18,0 20,0	12,0 14,0	2,0 2,50	Max 0,05	-



Obr. 25 Zkušební tělesa - návary č. 1, 2, 3

### 6.2.2.2 Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi

Chemické složení svarových kovů dráty INERTROD 316 LSi bylo ověřeno optickou emisní spektrometrií a jednoúčelovým analyzátozem na návarech (obr. 26):

- návar č. 1.1 s označením H00743 - drát INERTROD 316 LSi Ø 1,6 mm
- návar č. 2.1 s označením H00744 - drát INERTROD 316 LSi Ø 2,0 mm
- návar č. 3.1 s označením H00745 - drát INERTROD 316 LSi Ø 2,4 mm
- návar č. 4.1 s označením H00746 - drát INERTROD 316 LSi Ø 3,2 mm

#### Předpis a kritérium zkoušky

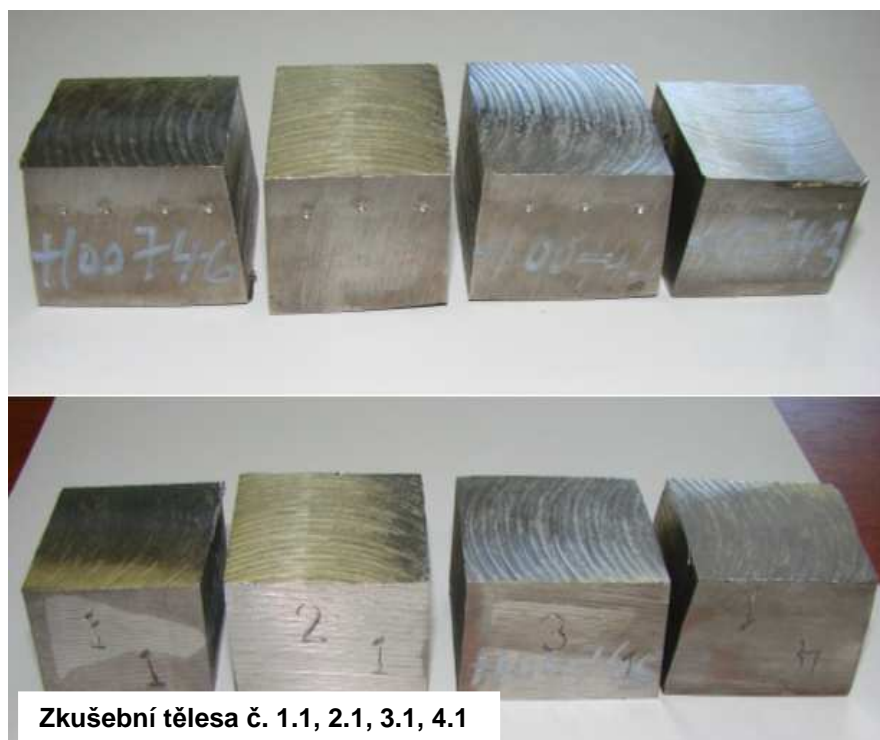
Chemické složení bylo provedeno podle standardu ASTM pomocí přístroje Spectrolab 2000 pro prvky Mn, Si, P, Ni, Cr, Mo, Co (obr. P39). Pro rozbor chemického složení prvku C, S byl použit jednoúčelový analyzátor CS-444. Chemické složení svarových kovů musí být v souladu s hodnotami uvedenými ve schvalovacím listu přídatného materiálů včetně požadavku na obsah Co omezený hodnotou max. 0,05 %.

#### Vyhodnocení zkoušky

Chemické složení svarových kovů dráty INERTROD 316 LSi všech průměrů odpovídá hodnotám uvedených ve schvalovacím listu přídatného materiálů včetně požadavku na obsah Co. Vyhovující výsledky chemického složení jsou uvedeny v tab. 18 a dokumentovány protokolem.

Tab. 18 Chemické složení svarových kovů dráty INERTROD 316 LSi

INERTROD 316 LSi	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co
	[ hm % ]								
Ø 1,6 mm	0,014	0,68	1,72	0,020	0,0101	18,28	12,00	2,40	0,043
Ø 2,0 mm	0,011	0,68	1,71	0,022	0,0094	18,22	11,92	2,38	0,046
Ø 2,4 mm	0,012	0,68	1,72	0,021	0,0089	18,20	11,91	2,30	0,046
Ø 3,2 mm	0,014	0,67	1,72	0,020	0,0097	18,24	11,90	2,40	0,043
Schvalovací list drátu	Max 0,030	0,30 1,00	1,20 2,50	Max 0,030	Max 0,020	18,00 20,00	11,00 14,00	2,30 3,00	Max 0,05



Obr. 26 Zkušební tělesa - návary č. 1.1, 2.1, 3.1, 4.1

### 6.2.3 Obsah $\delta$ feritu ve svarových kovech

#### 6.2.3.1 Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N

Obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech elektrod OK 63.25 N byl stanoven stejnou metodikou jako obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech původních přídavných materiálů elektrod EA 400/10T a EA 400/10TA.

Pro stanovení obsahu  $\delta$  feritu byly použity zkušební tělesa o  $\varnothing$  5; 7 mm a délky 60 mm ve stavu tepelně nezpracovaném (obr. 27):

- zkušební těleso č. 1F/1-3 elektroda OK 63.25 N  $\varnothing$  2,5 mm
- zkušební těleso č. 2F/4-6 elektroda OK 63.25 N  $\varnothing$  3,2 mm
- zkušební těleso č. 3F/7-9 elektroda OK 63.25 N  $\varnothing$  4,0 mm

## Předpis a kritérium zkoušky

Obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech byl stanoven metodikou podle TP ŽAZ E-1020 feritometrem FC-2 (obr. P40). Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech elektrod OK 63.25 N musí odpovídat hodnotám 2 až 8 % stanovených pro původní přídatné materiály EA 400/10T a EA 400/10TA.

## Vyhodnocení zkoušky

Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech elektrod OK 63.25 N všech průměrů splňují požadavky na obsah  $\delta$  feritu stanovený pro původní přídatné materiály EA 400/10T a EA 400/10TA. Výsledky měření obsahu  $\delta$  feritu jsou proto vyhovující. Vyhovující výsledky jsou uvedeny v tab. 19 a dokumentovány protokolem.

Tab. 19 Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech elektrody OK 63.25 N

OK 63.25 N	Obsah $\delta$ feritu	
	[%]	
	Hodnota	Průměr
Ø 2,5 mm	4,7	4,8
	4,7	
	4,9	
Ø 3,2 mm	5,0	5,1
	5,2	
	5,0	
Ø 4,0 mm	4,1	4,2
	4,2	
	4,4	





Obr. 27 Zkušební tělesa č. 1F/1-3, 2F/4-6, 3F/7-9 pro analýzu  $\delta$  feritu

#### 6.2.3.2 Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi

Obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech drátů INERTROD 316 LSi byl stanoven stejnou metodikou jako obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech původního přídavného materiálu Sv-04Ch19N11M3.

Pro stanovení obsahu  $\delta$  feritu byly použity zkušební tělesa o  $\varnothing$  5; 7 mm a délky 60 mm ve stavu tepelně nezpracovaném (obr. 28):

- zkušební těleso č. 1, 2, 3 drát INERTROD 316 LSi  $\varnothing$  1,6 mm
- zkušební těleso č. 4, 5, 6 drát INERTROD 316 LSi  $\varnothing$  2,0 mm
- zkušební těleso č. 7, 8, 9 drát INERTROD 316 LSi  $\varnothing$  2,4 mm
- zkušební těleso č. 10, 11, 12 drát INERTROD 316 LSi  $\varnothing$  3,2 mm

#### Předpis a kritérium zkoušky

Obsah  $\delta$  feritu ve svarových kovech byl stanoven metodikou podle TP ŽAZ D-1010 feritometrem FC-2 (obr. P40). Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech drátů INERTROD 316

LSi musí odpovídat hodnotám 2 až 8 % stanovených pro původní přídavný materiál Sv-04Ch19N11M3.

### Vyhodnocení zkoušky

Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech drátů INERTROD 316 LSi všech průměrů splňují požadavky na obsah  $\delta$  feritu stanovený pro původní přídavný materiál Sv-04Ch19N11M3. Výsledky měření obsahu  $\delta$  feritu jsou proto vyhovující. Vyhovující výsledky jsou uvedeny v tab. 20 a dokumentovány protokolem.

Tab. 20 Obsahy  $\delta$  feritu ve svarových kovech drátu INERTROD 316 LSi

INERTROD 316 LSi	Obsah $\delta$ feritu	
	[%]	
	Hodnota	Průměr
Ø 1,6 mm	4,6	4,4
	4,2	
	4,5	
Ø 2,0 mm	4,4	4,3
	4,2	
	4,4	
Ø 2,4 mm	4,3	4,2
	4,6	
	3,7	
Ø 3,2 mm	4,5	4,8
	5,2	
	4,8	



Obr. 28 Zkušební tělesa č. 1-3, 4-6, 7-9, 10-12 pro analýzu  $\delta$  feritu

## 6.2.4 Mechanické vlastnosti svarových kovů

### 6.2.4.1 Svarový kov navařený elektrodou OK 63.25 N

Mechanické vlastnosti svarového kovu elektrody OK 63.25 N všech průměrů byly ověřeny zkouškou tahem s naměřením hodnot  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  a  $Z$ , dále zkouškou rázem v ohybu s naměřením hodnot KCV a KCU2.

Pro ověření mechanických vlastností svarového kovu zkouškou tahem byly použity zkušební tělesa, které byly zkoušeny při zkušební teplotě 20, 300 a 350 °C (obr. 29):

- zkušební těleso č. 1, 2 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební těleso č. 3, 4 zkušební teplota 300 °C elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební těleso č. 5, 6 zkušební teplota 350 °C elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební těleso č. 7, 8 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- zkušební těleso č. 9, 10 zkušební teplota 300 °C elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- zkušební těleso č. 11, 12 zkušební teplota 350 °C elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm
- zkušební těleso č. 13, 14 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 4,0 mm
- zkušební těleso č. 15, 16 zkušební teplota 300 °C elektroda OK 63.25 N Ø 4,0 mm
- zkušební těleso č. 17, 18 zkušební teplota 350 °C elektroda OK 63.25 N Ø 4,0 mm

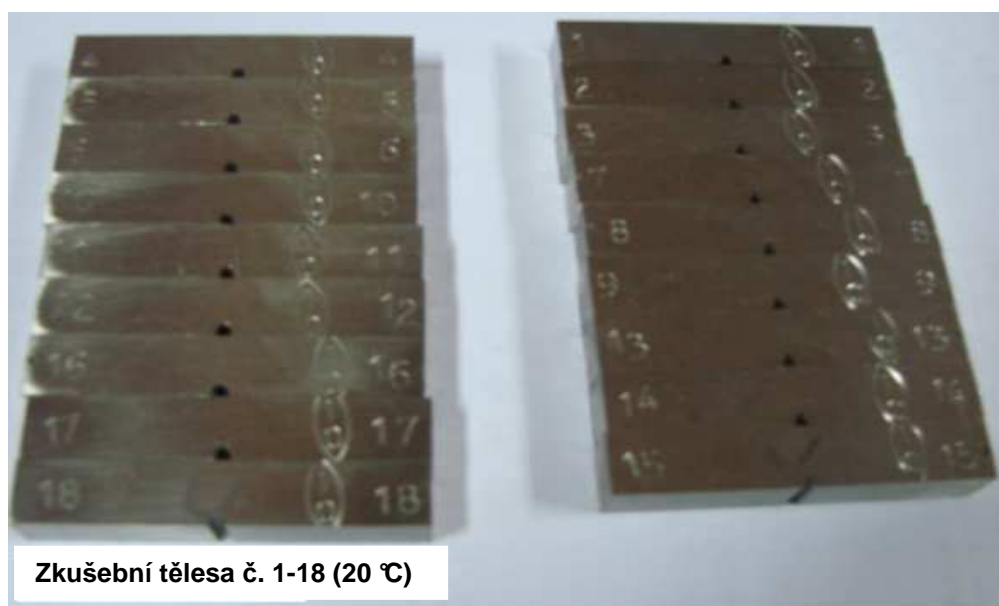


Obr. 29 Zkušební tělesa č. 1-18 pro zkoušku tahem

Pro ověření mechanických vlastností svarového kovu zkouškou rázem v ohybu byly použity zkušební tělesa, které byly zkoušeny při zkušební teplotě 20 °C (obr. 30):

- zkušební těleso VWT č. 1, 2, 3 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební těleso UWT č. 4, 5, 6 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 2,5 mm
- zkušební těleso VWT č. 7, 8, 9 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 63.25 N Ø 3,2 mm

- zkušební těleso UWT č. 10, 11, 12 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 6 3.25 N Ø 3,2 mm
- zkušební těleso VWT č. 13, 14, 15 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 6 3.25 N Ø 4,0 mm
- zkušební těleso UWT č. 16, 17, 18 zkušební teplota 20 °C elektroda OK 6 3.25 N Ø 4,0 mm



Obr. 30 Zkušební tělesa č. 1-18 pro zkoušku rázem v ohybu

### Předpis a kritérium zkoušky

Zkouška tahem byla provedena podle ČSN EN 876 (obr. P41 - P44). Zkouška rázem v ohybu byla provedena podle ČSN EN 875 (obr. P47 - P48). Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám původního přídavného materiálu EA 400/10T a EA 400/10TA.

### Vyhodnocení zkoušky

Naměřené hodnoty mechanických vlastností svarových kovů zkouškou tahem a zkouškou rázem v ohybu všech průměrů splňují při teplotě 20 °C s velkou rezervou hodnoty požadované pro původní přídavný materiál EA 400/10T a EA 400/10TA podle GOST normy. Zkouškou tahem při zkušební teplotě 300 °C splňují požadované hodnoty svarové kovy elektrod OK 63.25 N o Ø 2,5 a 3,2 mm. Svarový kov elektrody OK 63.25 N o Ø 4,0 mm splňuje při zkušební teplotě 300 °C s velkou rezervou požadované hodnoty

$R_{p0,2}$ . Hodnota  $R_m$  je pouze u jednoho zkušebního tělesa o 3 MPa nižší než požadovaná hodnota 441 MPa. Norma ČSN EN 10002-1 udává v tabulce J.3 kombinovanou standardní nejistotu měření u austenitických ocelí  $\pm 2,3 \%$ . Maximální provozní teplota jaderného zařízení byla stanovena držitelem povolení na  $T_{max}$  300 °C.

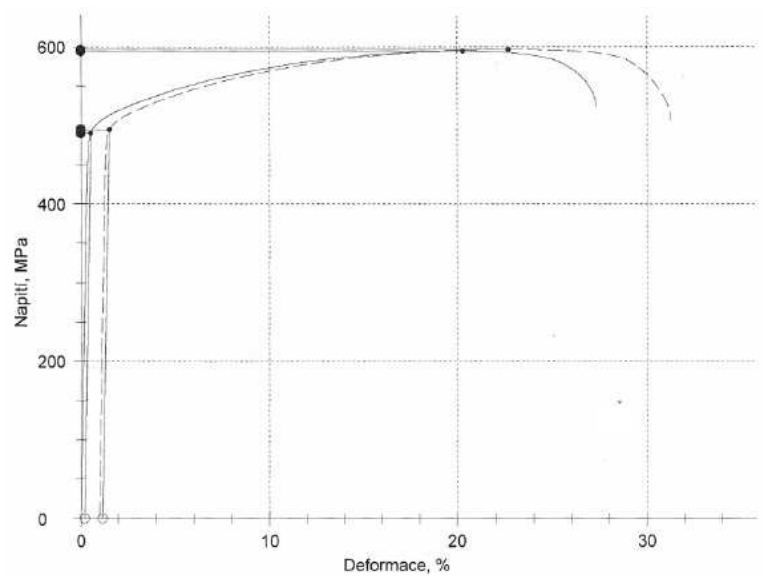
Z uvedených důvodů jsou proto výsledky osvědčovacích zkoušek svarového kovu elektrody OK 63.25 N i u  $\varnothing$  4,0 mm vyhovující. Vyhovující výsledky jsou uvedeny v tab. 21, 22 a dokumentovány protokolem včetně grafu z průběhu tahové zkoušky (obr. 31 - 33). Zkušební tělesa vyhodnocené při zkoušce tahem a zkoušce rázem v ohybu jsou zdokumentovány a archivovány po dobu životnosti zařízení (obr. P45, P49).

Tab. 21 Výsledky tahových zkoušek svarových kovů elektrod OK 63.25 N

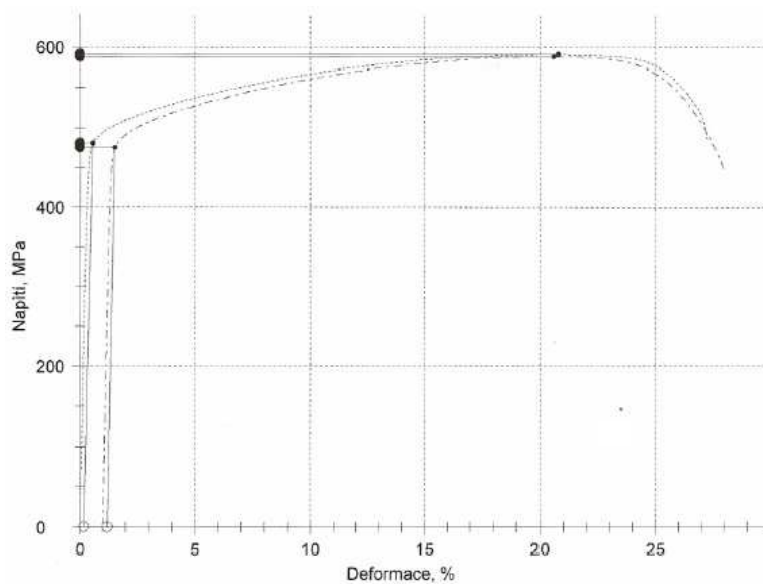
		Teplota Zkoušky [°C]	R <sub>m</sub>		R <sub>p0,2</sub>		A <sub>5</sub>		Z	
			[MPa]				[%]			
OK 63.25 N	Ø 2,5 mm	20	595	595,5	490	492	30,2	31,6	48,2	46,7
			596		494		33,0		45,2	
		300	455	456	384	386	22,6	23,3	57,8	55,1
			457		388		24,0		52,4	
		350	447	445,5	370	370	21,2	21,0	49,6	48,9
			444		370		20,8		48,2	
	Ø 3,2 mm	20	591	589,5	480	477,5	29,6	30,9	42,2	45,9
			588		475		32,2		49,6	
		300	458	453,5	381	375	20,6	22,5	56,4	56,4
			449		369		24,4		56,4	
		350	438	439,5	351	357	23,6	22,4	55,1	57,1
			441		363		21,2		59,0	
	Ø 4,0 mm	20	582	577,5	457	451,5	30,2	31,5	48,2	48,9
			573		446		32,8		49,6	
		300	438	439,5	359	357,5	22,4	23,6	57,8	58,4
			441		356		24,8		59,0	
		350	431	429	341	340,5	26,8	26,0	55,1	57,1
			427		340		25,2		59,0	
EA 400/10T EA 400/10TA		20	539		343		23		30	
		350	441		245		-		-	
Specifikace výrobce		20	520 -670		Min 320		Min 30		-	

Tab. 22 Výsledky zkoušek rázem v ohybu svarových kovů elektrod OK 63.25 N

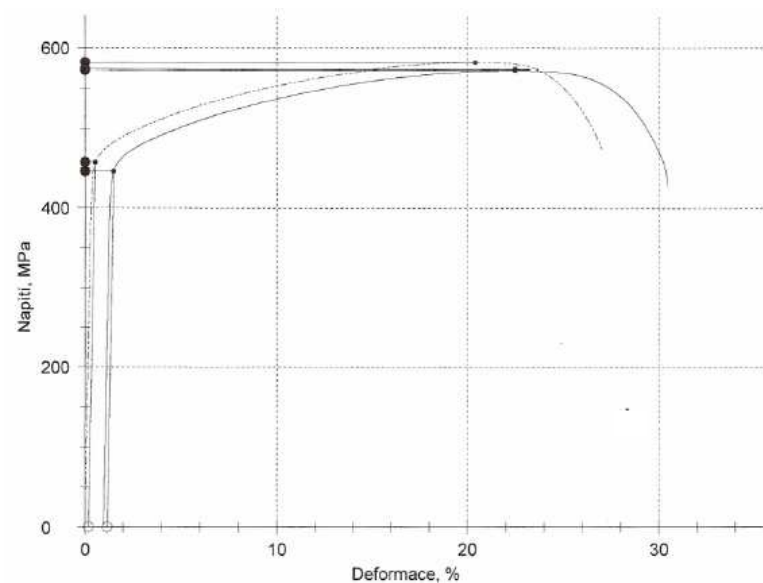
OK 63.25 N	Teplota Zkoušky [°C]	KCU2		KCV	
		[J.cm <sup>-2</sup> ]			
Ø 2,5 mm	20	110	111	100	104
		115		103	
		109		108	
Ø 3,2 mm		126	133	113	113
		136		113	
		136		113	
Ø 4,0 mm		123	132	106	106
		144		103	
		129		110	
EA 400/10T EA 400/10TA		Min 88		-	
Specifikace výrobce		-		Min 82	



zkušební těleso č. 1, 2



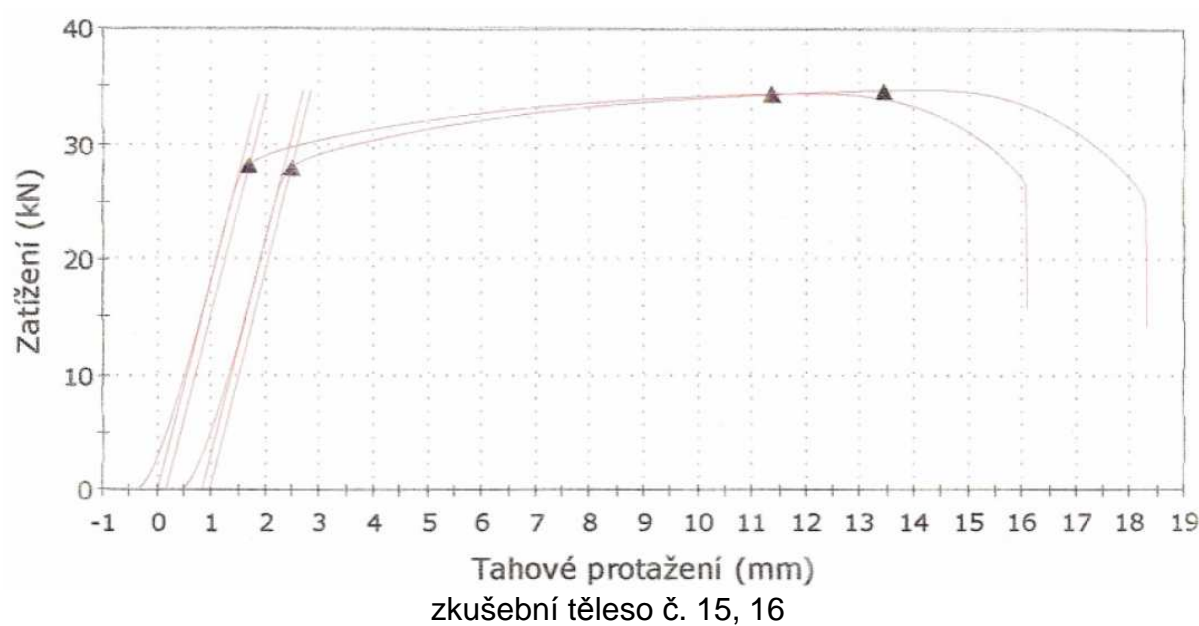
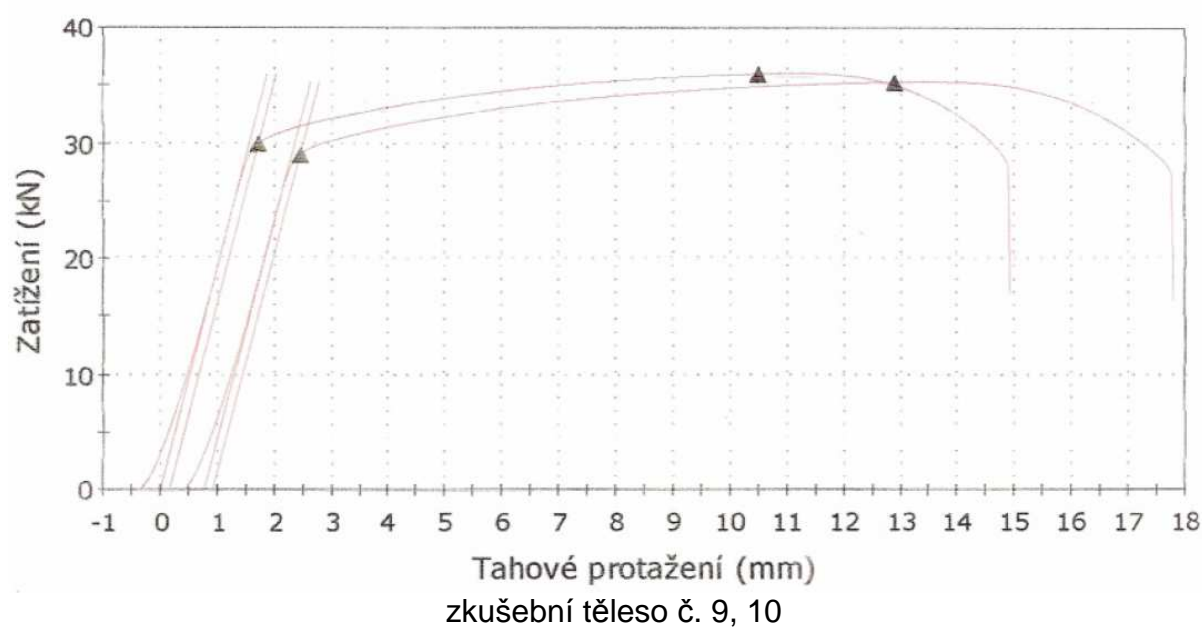
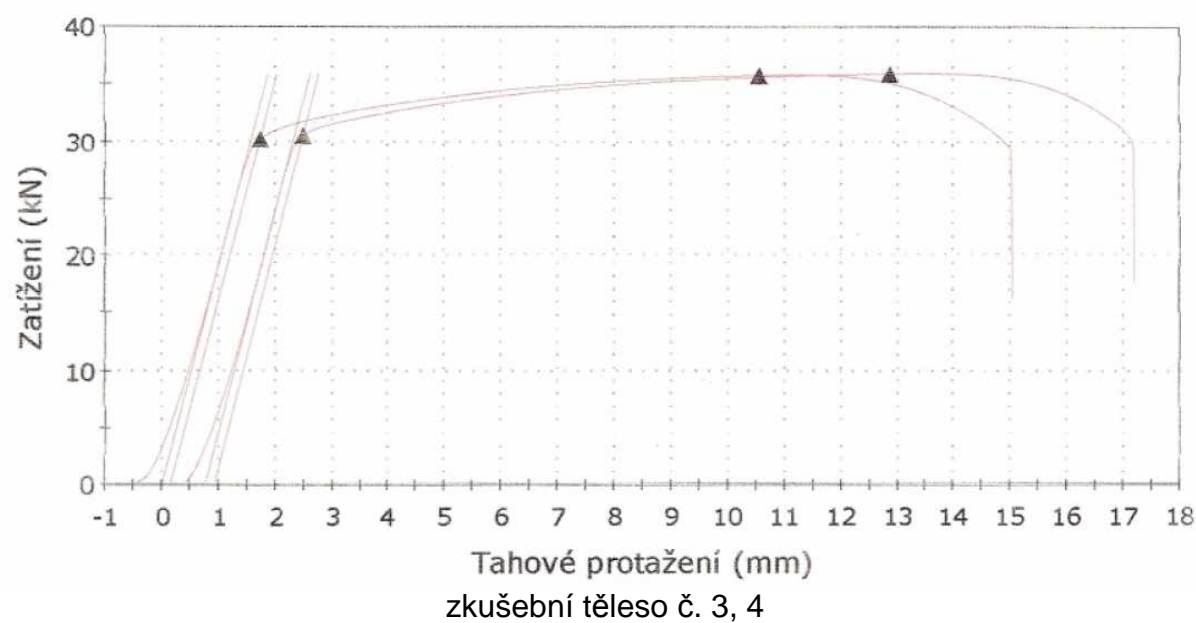
zkušební těleso č. 7, 8



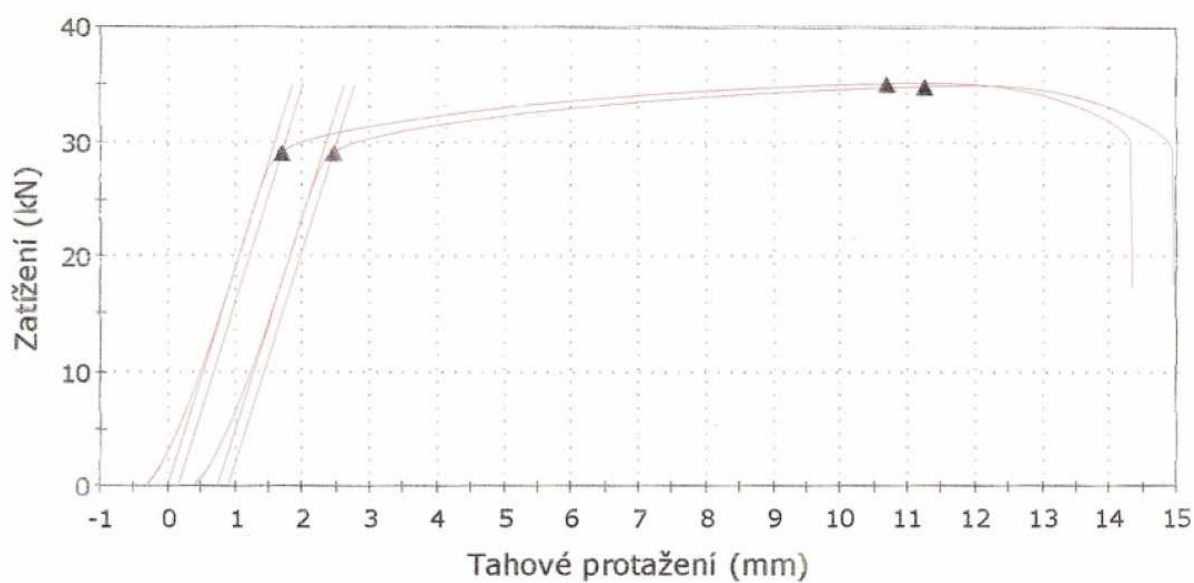
zkušební těleso č. 13, 14

Obr. 31 Grafy z průběhu tahové zkoušky při zkušební teplotě 20 °C

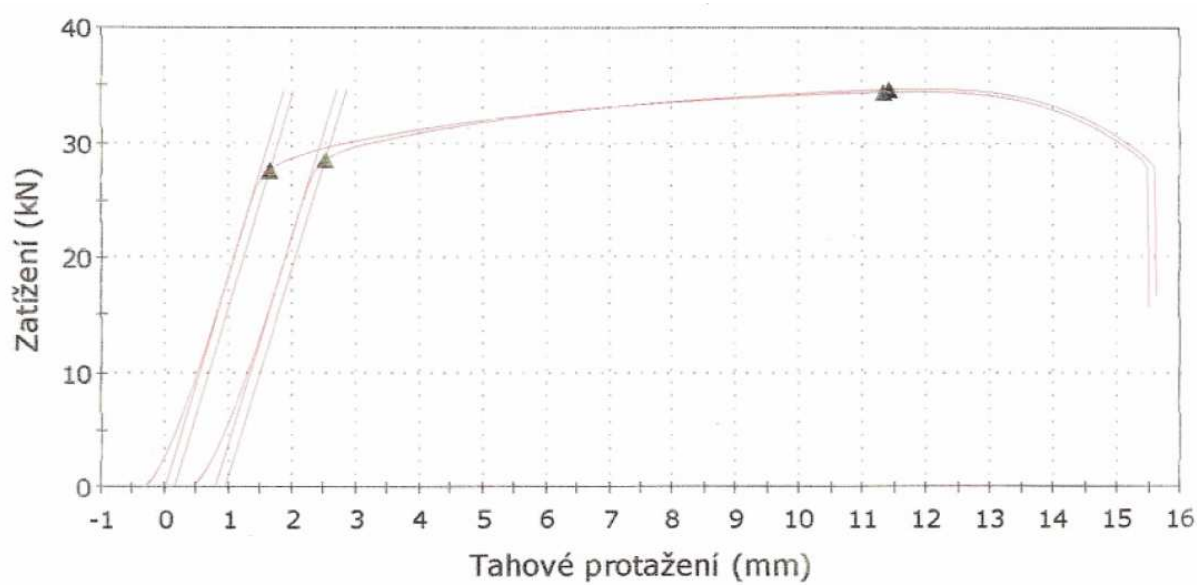




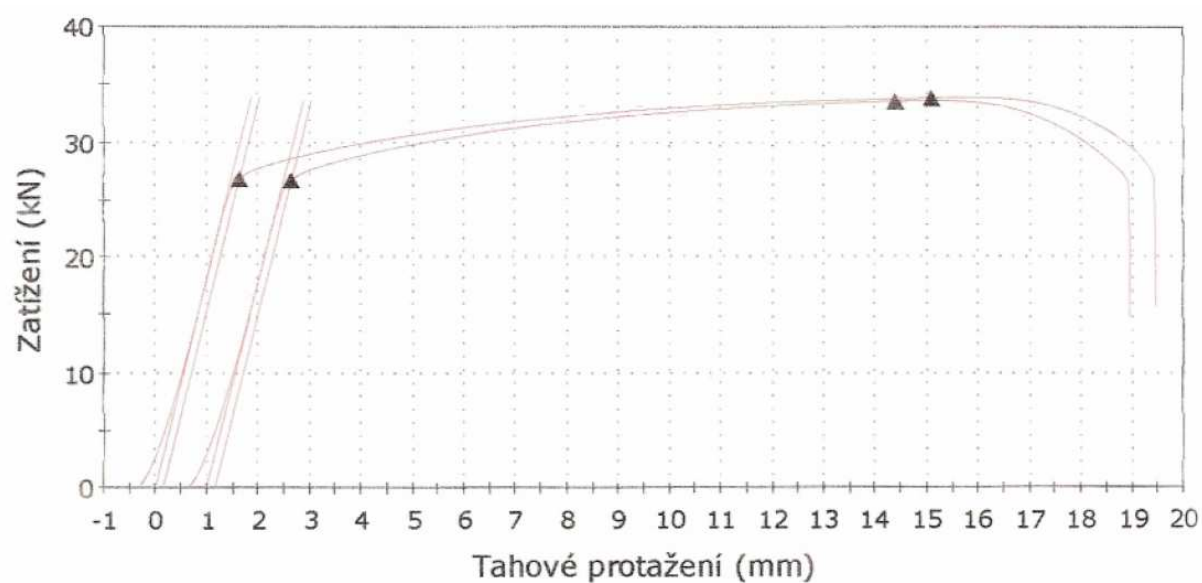
Obr. 32 Grafy z průběhu tahové zkoušky při zkušební teplotě 300 °C



zkušební těleso č. 5, 6



zkušební těleso č. 11, 12



zkušební těleso č. 17, 18

Obr. 33 Grafy z průběhu tahové zkoušky při zkušební teplotě 350 °C

#### 6.2.4.2 Svarový kov navařený drátem INERTROD 316 LSi

Mechanické vlastnosti svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi všech průměrů byly ověřeny zkouškou tahem s naměřením hodnot  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  a  $Z$ , dále zkouškou rázem v ohybu s naměřením hodnot KCV.

Pro ověření mechanických vlastností svarového kovu zkouškou tahem byly použity zkušební tělesa, které byly zkoušeny při zkušební teplotě 20 °C (obr. 34):

- zkušební těleso č. 1, 2 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 1,6 mm
- zkušební těleso č. 3, 4 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 2,0 mm
- zkušební těleso č. 5, 6 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 2,4 mm
- zkušební těleso č. 7, 8 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 3,2 mm



Obr. 34 Zkušební tělesa č. 1-8 pro zkoušku tahem

Pro ověření mechanických vlastností svarového kovu zkouškou rázem v ohybu byly použity zkušební tělesa, které byly zkoušeny při zkušební teplotě 20 °C (obr. 35):

- zkušební těleso VWT č. 1, 2, 3 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 1,6 mm
- zkušební těleso VWT č. 7, 8, 9 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 2,0 mm
- zkušební těleso VWT č. 13, 14, 15 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 2,4 mm
- zkušební těleso VWT č. 19, 20, 21 zkušební teplota 20 °C drát INERTROD 316 LSi Ø 3,2 mm



Obr. 35 Zkušební tělesa č. 1-3, 7-9, 13-15, 19-21 pro zkoušku rázem v ohybu

### **Předpis a kritérium zkoušky**

Zkouška tahem byla provedena podle ČSN EN 876 (obr. P41, P42). Zkouška rázem v ohybu byla provedena podle ČSN EN 875 (obr. P47, P48). Naměřené hodnoty základních mechanických vlastností musí odpovídat hodnotám původního přídatného materiálu Sv-04Ch19N11M3.

## Vyhodnocení zkoušky

Naměřené hodnoty mechanických vlastností svarových kovů zkouškou tahem a zkouškou rázem v ohybu všech průměrů splňují při teplotě 20 °C s velkou rezervou hodnoty požadované pro původní přídatný materiál Sv-04Ch19N11M3. Vyhovující výsledky jsou uvedeny v tab. 23, 24 a dokumentovány protokolem včetně grafu z průběhu tahové zkoušky (obr. 36). Zkušební tělesa vyhodnocené při zkoušce tahem a zkoušce rázem v ohybu jsou zdokumentovány a archivovány po dobu životnosti zařízení (obr. P46, P50).

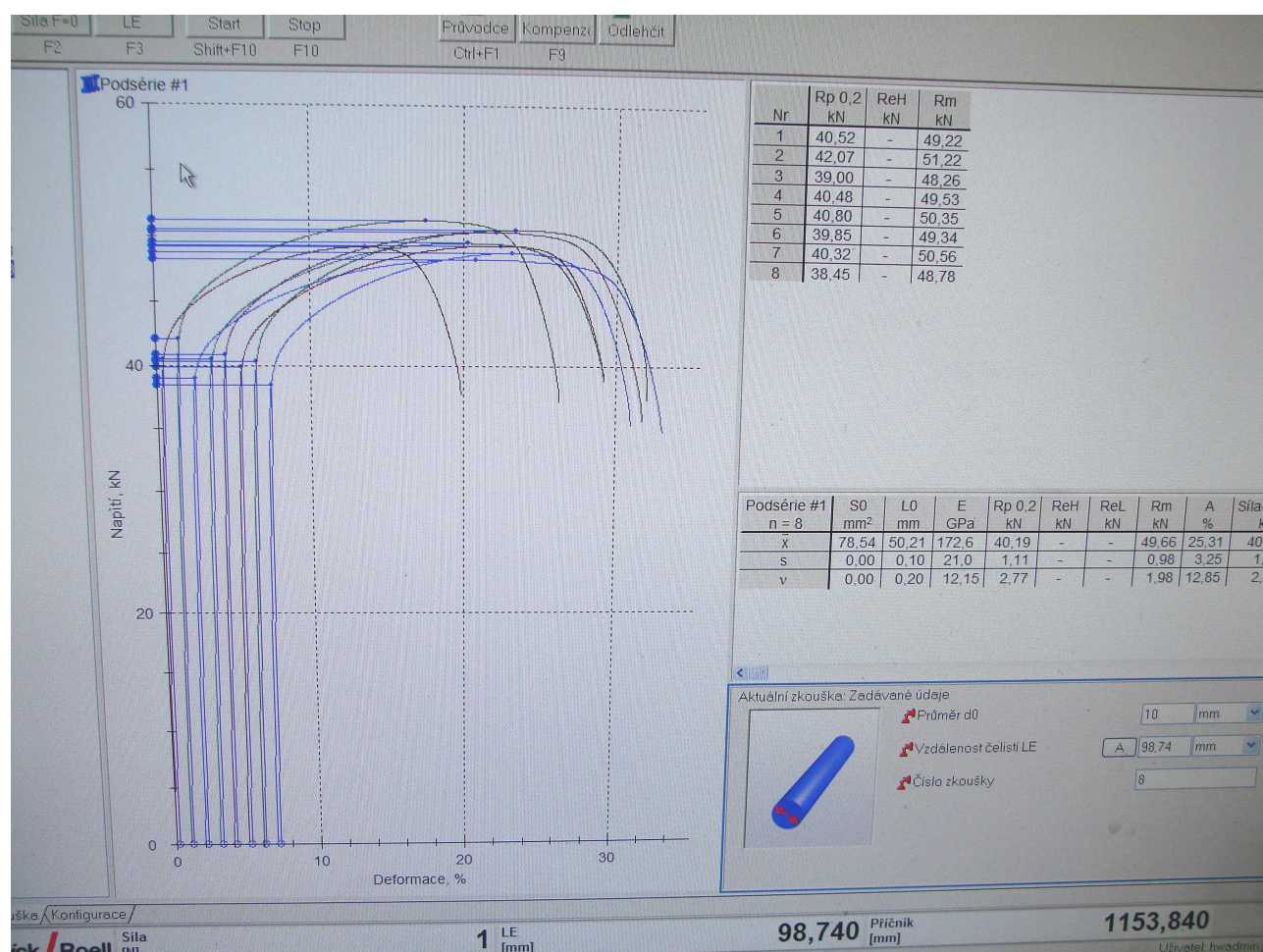
Tab. 23 Výsledky tahových zkoušek svarových kovů drátu INERTROD 316 LSi

		Teplota Zkoušky [°C]	R <sub>m</sub>		R <sub>p0,2</sub>		A <sub>5</sub>		Z		
			[MPa]				[%]				
INERTROD 316 LSi	Ø 1,6 mm	20	663	655,5	538	530	28,8	31,5	52,4	55,7	
			648		522		34,2		59,0		
	Ø 2,0 mm		615	622,5	497	506,5	33,0	30,7	62,8	56,9	
			630		516		28,4		51,0		
	Ø 2,4 mm		642	635	519	513,5	31,6	29,4	64,0	64	
			628		508		27,2		64,0		
	Ø 3,2 mm		644	632,5	513	501,5	30,4	29,7	56,4	58,4	
			621		490		29,0		60,3		
Schvalovací list drátu			> 441		> 274		> 27		> 43		



Tab. 24 Výsledky zkoušek rázem v ohybu svarových kovů drátu INERTROD 316 LSi

INERTROD 316 LSi	Teplota Zkoušky [°C]	KV	
		[J]	
Ø 1,6 mm	20	169	164
		167	
		156	
Ø 2,0 mm		148	148
		152	
		143	
Ø 2,4 mm		130	140
		139	
		152	
Ø 3,2 mm		155	154
		160	
		146	
Schvalovací list drátu			> 40



Obr. 36 Graf z průběhu tahové zkoušky při zkušební teplotě 20 °C

## 7 Zhodnocení problematiky kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů

### 7.1 Zhodnocení osvědčovacích zkoušek elektrody OK 63.25 N

Výsledky všech zkoušek provedených podle schváleného programu osvědčovacích zkoušek jsou pro požadovanou maximální teplotu jaderného zařízení 300 °C vyhovující. Autorizovaná osoba provede nezávislé posouzení shody výsledků všech provedených zkoušek. Na základě kladného posouzení je osvědčený přídatný materiál OK 63.25 N o Ø 2,5; 3,2 a 4,0 mm zařazen do dokumentu NTD A.S.I. Sekce I, jako přídatný materiál přípustný pro použití v jaderné energetice, nahrazující původní přídatné materiály EA 400/10T a EA 400/10TA.

Autorizovanou osobou ve spolupráci s výrobcem přídatného materiálu je na základě kladných výsledků zkoušek a posouzení shody vystaven „Schvalovací list přídatného materiálu“ (obr. P51), kde se po výrobci požaduje garance následujících vlastností, viz tab. 25, 26:

Tab. 25 Chemické složení svarového kovu elektrody OK 63.25 N

Typické chemické složení svarového kovu [%]										
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Si	P	S	Co
Min	-	0,50	18,00	12,00	2,00	-	-	-	-	-
Max	0,035	2,50	20,00	14,00	2,50	0,15	0,90	0,020	0,020	0,05
Delta ferit (FC2) 2 - 8 [%]										

Tab. 26 Mechanické vlastnosti svarového kovu elektrody OK 63.25 N

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu					
Stav [°C]	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KV-ISO-V [J]
20	> 343	> 539	> 23	> 30	> 70

Uvedené hodnoty musí být ověřovány při dodávce každé prověřované skupiny přídatného materiálu podle NTD A.S.I. Sekce I pro jadernou energetiku ověřovacími zkouškami a dokladovány dokumentem typu 3.2 v působnosti vyhlášky č. 309/2005 Sb. pro bezpečnostní třídu BT1 a BT2 nebo dokumentem typu 3.1 pro ostatní JZ.

## 7.2 Zhodnocení ověřovacích zkoušek drátu INERTROD 316 LSi

Výsledky všech zkoušek provedených podle schváleného programu ověřovacích zkoušek jsou v souladu s hodnotami uvedenými ve „Schvalovacím listu přídatného materiálu“ (obr. P52). Autorizovaná osoba provede nezávislé posouzení výsledků všech provedených zkoušek. Na základě kladného posouzení je autorizovanou osobou na ověřený přídatný materiál INERTROD 316 LSi o  $\varnothing$  1,6; 2,0; 2,4 a 3,2 mm vystaven dokument typu 3.2 pro použití podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. (obr. P53).

Požadované hodnoty uvedené ve „Schvalovacím listu přídatného materiálu“, viz tab. 27, 28:

Tab. 27 Chemické složení svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi

Typické chemické složení svarového kovu [%]									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Co
Min	-	1,20	0,30	-	-	18,00	11,00	2,00	-
Max	0,030	2,50	1,00	0,030	0,020	20,00	14,00	2,50	0,05
Delta ferit (FC2) 2 - 8 [%]									

Tab. 28 Mechanické vlastnosti svarového kovu drátu INERTROD 316 LSi

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu					
Stav [°C]	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KV-ISO-V [J]
20	> 274	> 441	> 27	> 43	> 40



### 7.3 Posouzení nezávislého dohledu nad kvalifikací přídavných materiálů

Z pohledu naplnění požadavků vyhlášky č. 309/2005 Sb. byl prováděn nezávislý dohled autorizovanou osobou v rozsahu schváleného plánu kontrol a zkoušek, který tvoří přílohu programu osvědčovacích a ověřovacích zkoušek. Výkon z dohledu v rámci kvalifikačního procesu byl zdokumentován formou záznamu do plánu kontrol a zkoušek.

Z pohledu naplnění vyhlášky č. 132/2008 Sb. bylo přezkoumání a ověření kvalifikačního procesu prováděno držitelem povolení, formou nezávislého dohledu odpovědnou osobou z útvaru Technické bezpečnosti. Výkon z dohledu je doložen protokolem z dohledu nad technickou bezpečností a zdokumentován formou záznamu do plánu kontrol a zkoušek. Archivace všech dokumentů a záznamů včetně příloh, je podle vyhlášky č. 132/2008 Sb. po celou dobu životnosti zařízení.

Dohled nad technickou bezpečností kvalifikačních zkoušek zahrnuje zejména posouzení výchozí technické dokumentace, ověření průběhu realizace, posouzení konečné dokumentace a vstupní kontrolu dodaných přídavných materiálů.

**Posouzení výchozí technické dokumentace zahrnuje zejména přezkoumání a schválení:**

- specifikace přídavných materiálů tzv. dokumenty SVPRID, které tvoří přílohu objednávky (pouze u dodávek zajišťovaných držitelem povolení),  
*SVPRID musí obsahovat relevantní požadavky pro zkoušení přídavných materiálů zahrnující zejména požadavky na chemickou analýzu svarového kovu, mechanické vlastnosti svarového kovu, obsah  $\delta$  feritu ve svarovém kovu (platí pro vysokolegované přídavné materiály typu Cr-Ni nebo Cr-Ni-Mo), seznam požadované dokumentace k dodávce přídavných materiálů v minimálním rozsahu: inspekční certifikát typ 3.1 pro vybraná zařízení podle vyhlášky č. 132/2008 Sb. nebo inspekční certifikát typ 3.2 pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. potvrzený autorizovanou osobou, plán kontrol a zkoušek s potvrzenými kontrolními operacemi, podmínky pro skladování a manipulaci, požadavky pro balení přídavných materiálů např. VacPac, bezpečnostní listy (Safety data sheet).*

- programu osvědčovacích zkoušek,  
*program osvědčovacích zkoušek musí splňovat požadavky vyplývající z technického kódu pro jaderná zařízení NTD A.S.I. Sekce I.*
- programu ověřovacích zkoušek,  
*program ověřovacích zkoušek musí splňovat požadavky vyplývající z technického kódu pro jaderná zařízení NTD A.S.I. Sekce I.*
- plánu kontrol a zkoušek,  
*plán kontrol a zkoušek musí splňovat požadavky vyplývající z dokumentace držitele povolení.*

### **Ověření průběhu realizace zahrnuje zejména kontrolu:**

- dokumentů kontroly základních materiálů,  
*musí být stanoven požadavek na typ dokumentu kontroly včetně požadovaných zkoušek.*
- dokumentů kontroly přídavných materiálů,  
*musí být stanoven požadavek na typ dokumentu kontroly včetně požadovaných zkoušek.*
- značení základních materiálů podle dokumentů kontroly,  
*musí být použit jen základní materiál, který je označený v souladu s dokumentem kontroly výrobce potvrzující shodu s technickou specifikací materiálu.*
- přenosu značení při dělení základních materiálů,  
*přenos značení základních materiálů (značka, číslo tavby), musí být pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná, ověřena autorizovanou osobou.*
- označení desek před svařováním autorizovanou osobou,  
*před svařováním musí být autorizovanou osobou potvrzen soulad připravenosti zkušebních desek v souladu se specifikovanými požadavky.*
- rozměrů zkušebních desek,  
*musí být dodrženy specifikované požadavky na tvar a rozměry zkušebních desek.*
- značení návarů pro zkoušky chemického složení,  
*před navařováním musí být označena místa zhotovením návaru.*
- kvalifikace svářečů,  
*musí být doloženo osvědčením o zkoušce svářeče, vydané oprávněnou zkušební organizací podle příslušné normy.*

- průběhu svařování a navařování,  
*musí být prováděn dohled kvalifikovanými a oprávněnými pracovníky útvaru Technické bezpečnosti, zda svářečské činnosti splňují relevantní požadavky specifikované v technických předpisech.*
- průběhu tepelného zpracování,  
*musí být prováděn dohled kvalifikovanými a oprávněnými pracovníky útvaru Technické bezpečnosti, zda postup tepelného zpracování splňuje relevantní požadavky specifikované v technických předpisech.*
- kvalifikace NDT pracovníků,  
*musí být doloženo certifikátem, vydaným akreditovaným orgánem podle příslušné normy, pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná musí být NDT pracovníci schválení autorizovanou osobou.*
- provedení a vyhodnocení NDT a DT zkoušek,  
*musí být prováděn dohled kvalifikovanými a oprávněnými pracovníky útvaru Technické bezpečnosti, zda NDT a DT zkoušky jsou realizovány podle schváleného PKZ a dále splňují relevantní požadavky specifikované v technických předpisech.*
- způsobilosti výrobního a zkušebního zařízení,  
*pro dělení, tváření, přípravu svarových ploch, svařování, tepelné zpracování, kontrolu a zkoušení lze použít pouze zařízení splňující požadavky bezpečné práce, v souladu s návodem na obsluhu a platnou revizi.*

#### **Posouzení konečné dokumentace zahrnuje zejména přezkoumání:**

- technické zprávy osvědčovacích zkoušek,  
*technická zpráva musí minimálně obsahovat program osvědčovacích zkoušek, plán kontrol a zkoušek, postupy pro svařování a navařování zkušebních desek, záznamy z průběhu svařovacího procesu, protokoly z NDT a DT zkoušek, inspekční certifikáty základního a přídatného materiálu typu 3.1, produkt data sheet přídatného materiálu, materiálový list původního přídatného materiálu, kopii osvědčení o zkoušce svářeče.*
- inspekční zprávy ověřovacích zkoušek,  
*inspekční zpráva musí minimálně obsahovat program ověřovacích zkoušek, plán kontrol a zkoušek, postupy pro svařování a navařování zkušebních desek, záznamy z průběhu svařovacího procesu, protokoly z NDT a DT zkoušek, , inspekční certifikáty základního a přídatného materiálu typu 3.1, produkt data sheet přídatného materiálu.*

- schvalovacího listu přídavných materiálů,  
*schvalovací list musí obsahovat obchodní značení přídavného materiálu, značení podle normy (EN, SFA/AWS), aplikaci přídavného materiálu, chemickou analýzu a mechanické vlastnosti svarového kovu, údaje o nadstandardním zkoušení např. stanovení obsahu  $\delta$  feritu, doplňující informace o dalším schválení např. které původní přídavné materiály nahrazuje, odkaz na technickou dokumentaci schvalovacího procesu (technická zpráva, program osvědčovacích zkoušek) a potvrzení souladu s požadavky vyhlášky č. 309/2005 Sb. vystavené autorizovanou osobou.*
- dokumentu kontroly přídavných materiálů,  
*přídavný materiál musí být doložen inspekčním certifikátem typu 3.1 pro vybraná zařízení podle vyhlášky č. 132/2008 Sb. nebo inspekčním certifikátem typu 3.2 pro vybraná zařízení speciálně navrhovaná podle vyhlášky č. 309/2005 Sb. potvrzeným autorizovanou osobou.*
- stanoviska výrobce přídavných materiálů,  
*pro odzkoušení přídavného materiálu a vystavení dokumentu kontroly příslušného typu je nutný souhlas výrobce přídavného materiálu pro danou tavbu, rozměr, značku a účel použití.*

#### **Vstupní kontrola přídavných materiálů zahrnuje zejména:**

- kontrolu fyzického stavu,  
*musí být provedena vizuální kontrola balení přídavného materiálu, výrobního značení (obchodní značka, značení podle normy, tavba/LOT, rozměr), dodaného množství.*
- kontrolu dodané dokumentace,  
*musí být provedena kontrola shody dodané dokumentace přídavného materiálu s dokumentací požadovanou v příloze SVPRID dané objednávky, dále kontrola splnění požadavků vyhlášek uvedených v objednávce.*

Pro jednotlivé kontroly kvalifikačních zkoušek přídavných materiálů musí být jednoznačně určena kritéria přijatelnosti a typ záznamu, uvedená v plánu kontrol a zkoušek. Tento dokument musí být schválen oprávněným zástupcem výrobce přídavných materiálů, útvarem Technické bezpečnosti držitele povolení a autorizovanou osobou ve smyslu vyhlášky č. 309/2005 Sb.

## 8 Závěr

Při procesu kvalifikačních zkoušek přídatných materiálů je zapotřebí dodržet několik hlavních zásad pro výkon nezávislého a odborné posouzení. Zejména se jedná o technická data v oblasti zadání požadavku pro kvalifikaci přídatných materiálů, která jsou důležitá k stanovení postupu osvědčovacích a ověřovacích zkoušek např. volba použití přídatného materiálu, stanovení maximální provozní teploty jaderného zařízení.

Monitorování svařovacích parametrů v průběhu svařování a navařování zkušebních desek patří mezi podpůrné činnosti nezávislého dohledu nad technickou bezpečností. Kontinuální záznam volitelných svařovacích parametrů pomocí zařízení WeldMonitor a následné zdokumentování vytváří pracovníkům z útvaru Technické bezpečnosti ideální podmínky pro odborné posouzení procesu svařování.

Pro ověření shody s předepsanými technickými požadavky kvalifikačního procesu se uplatňuje proces nezávislého dohledu držitelem povolení z útvaru Technické bezpečnosti a proces posuzování shody formou jednotného přístupu autorizovaných osob. Jedná se o tzv. monitoring s víceúrovňovým funkčním přístupem pomocí něhož lze dosáhnout stavu, kdy přídatný materiál je již dodáván v prokazatelně ověřeném stavu podle specifikovaných podmínek.

Cílem diplomové práce bylo popsat a prakticky vyzkoušet postup možné volby přídatných materiálů jako náhrad za původní projektem předepsané přídatné materiály (používané v období výstavby zařízení) pro svařování jaderných zařízení.

Dalším cílem bylo zdokumentování vlastního průběhu kvalifikačních zkoušek náhradních přídatných materiálů formou provedení osvědčovacích a ověřovacích zkoušek. V průběhu kvalifikace náhradních přídatných materiálů byla provedena a vyhodnocena celá řada nedestruktivních a destruktivních zkoušek.

Podle vyhodnocení všech předepsaných nedestruktivních a destruktivních zkoušek svarových kovů náhrad přídatných materiálů, včetně záznamů z nezávislého dohledu, jsou odzkoušené přídatné materiály považovány za vyhovující a v rozsahu schvalovacího listu použitelné pro svařování jaderných zařízení.

Výsledky diplomové práce jsou součástí reálného procesu schvalování uváděných přídatných materiálů, použitelných při výrobě, opravách a výměnách komponent jaderných zařízení. Rovněž budou výsledky použity při výstavbě nových bloků jaderných elektráren v České a Slovenské republice.

## **Poděkování**

Za vlídnost, přívětivost a ochotu mi pomáhat děkuji mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Ivovi Hlavatému, Ph.D. Děkuji za jeho cenné připomínky a rady, děkuji za jeho přátelský přístup a za povzbuzení.

Děkuji panu prof. Ing. Jaroslavu Koukalovi, CSc. za podnětné rady a připomínky, děkuji za milé přijetí a cenný čas, který mi věnoval.

Děkuji manželce Janě za velikou pomoc, úžasné pochopení a skvělé zázemí, které mi poskytla.

## 9 Použitá literatura

- [1] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I.* [Skripty], 1. vydání Ostrava, VŠB-TU Ostrava 2005, 136 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [2] KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost* (Učební texty pro kurzy mezinárodních svářečských inženýrů, technologů a pro výuku teorie svařování na vysokých školách). Český svářečský ústav a VŠB-TU Ostrava, Ostrava srpen 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Přehled metod svařování* (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). ZEROSS, Ostrava leden 1998, 81 s. ISBN 80-85771-57-8.
- [4] TDS BRNO SMS, s. r. o. *Prezentace výukových odborných programů* [on line], 2008, poslední revize 05. 10. 2009. Dostupné z WWW: <http://www.tdsbrnosms.cz>.
- [5] ESAB Vamberk, s. r. o. *Prezentace výrobního programu* [on line], 2009, poslední revize 02.10.2009. Dostupné z WWW: <http://www.esab.cz>.
- [6] AIR LIQUIDE WELDING CZ s.r.o. *Prezentace výrobního programu* [on line], 2009, poslední revize 25.09.2009. Dostupné z WWW: <http://www.airliquidewelding.cz>.
- [7] SELCO CZECH REPUBLIC s.r.o. *Prezentace výrobního programu* [on line], 2009, poslední revize 05.10.2009. Dostupné z WWW: <http://www.selcoweld.com>.
- [8] ČEZ, a. s. *Firemní dokumentace společnosti* [on line], 2009, Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz>.
- [9] NTD A.S.I. SEKCE 1. *Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER* (Technický kód pro jaderná zařízení). A.S.I., Ostrava leden 2007, 100 s. NTD A.S.I.-I-Z-5/07.
- [10] Vyhláška č. 309/2005Sb. ze dne 22.07.2005 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, *O zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení*.
- [11] Vyhláška č. 132/2008Sb. ze dne 04.04.2007 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, *O systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd*.
- [12] Metodika Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, *Pro jednotný postup autorizovaných osob při posuzování shody speciálně navrhovaných vybraných zařízení podle vyhlášky č. 309/2005 Sb.*, Praha říjen 2008.



- [13] Norma ČSN EN 10204 Kovové výrobky - Druhy dokumentů kontroly, 2005.
- [14] Norma ČSN EN ISO 9001 Systémy managementů jakosti - Požadavky, 2009.
- [15] Norma ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování, 2001.
- [16] Norma ČSN EN 287-1 Zkoušky svářečů - Tavné svařování - Část 1: Oceli, 2004.
- [17] Technická zpráva TNI CEN ISO/TR 15608 Svařování - Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin, 2008.
- [18] Norma ČSN EN ISO 15609-1 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 1: Obloukové svařování, 2005.
- [19] ČSN EN ISO 15614-1 Stanovení a kvalifikace postupů svařování - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu, 2005.
- [20] Norma ČSN EN ISO 15792-1 Svařovací materiály - Zkušební metody - Část 1: Zkušební metody pro zkušební vzorky z čistých svařových kovů z oceli, niklu a slitin niklu, 2009.
- [21] Norma ČSN EN 10088-2 Korozi-vzdorné oceli - Část 2: Technické dodací podmínky pro plechy a pásy pro všeobecné použití, 2005.
- [22] Norma ČSN EN 10025-2 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli, 2005.
- [23] Norma ČSN EN ISO/IEC 17025 Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří, 2005.
- [24] Norma PN ŽAZ-312-1-87 Svařovací materiály pro výrobu, montáž a opravy jaderných energetických zařízení - Základní ustanovení, 1987.